

**MODEL TRANSPORT KONTAMINAN SENYAWA  
BESI ( II ) DALAM TANAH  
( STUDI KASUS PADA TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR SAMPAH DI DESA  
JATIREJO KECAMATAN NGAMPEL KABUPATEN KENDAL )**

**TESIS**



**Oleh :  
MOH. TOHA  
L4K001080**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2003**

LEMBAR PENGESAHAN

**MODEL TRANSPORT KONTAMINAN SENYAWA  
BESI (II) DALAM TANAH**

( STUDI KASUS PADA TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR ( TPA )  
SAMPAH DI DESA JATIREJO KECAMATAN NGAMPEL KABUPATEN  
KENDAL)

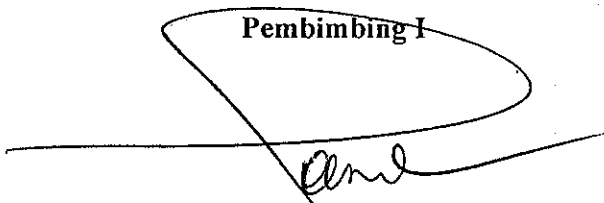
Oleh :

**MOH TOHA**

*L4K001080*

Menyetujui

Pembimbing I



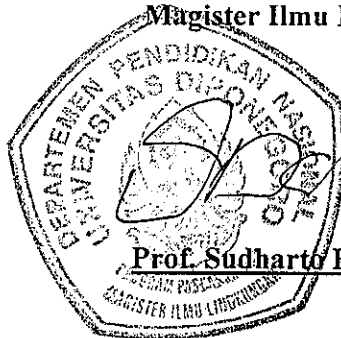
Dr. Ir. Purwanto, DEA

Pembimbing II



Ir. Dwi Handayani, MS

Ketua Program Studi  
Magister Ilmu Lingkungan



Prof. Sudharto P Hadi, MES

UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft.: 2410/I/MIL/CI...

Tgl. : 8 MARET 2004

LEMBAR PENGESAHAN

**MODEL TRANSPORT KONTAMINAN SENYAWA  
BESI (II) DALAM TANAH**

( STUDI KASUS PADA TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR ( TPA )  
SAMPAH DI DESA JATIREJO KECAMATAN NGAMPEL KABUPATEN  
KENDAL)

Oleh :

**MOH TOHA**

*L4K001080*

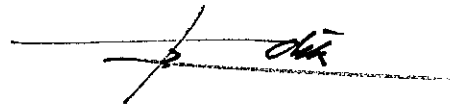
Menyetujui dan Mengesahkan

Penguji I



Dr. Ir. Setia Budi Sasangko, DEA

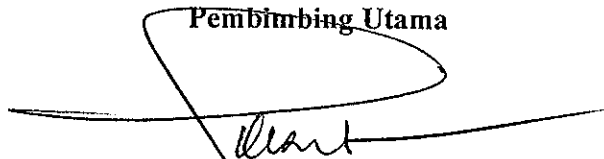
Penguji II



Ir. Syafrudin, CES, MT

Menyetujui  
Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Purwanto, DEA

Pembimbing II



Ir. Dwi Handayani, MS

Ketua Program Studi  
Magister Ilmu Lingkungan



Prof. Sudharto P Hadi, MES


## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan, bahwa Tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penelitian maupun yang belum / tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka

Semarang, 16 September 2003

Yang membuat pernyataan



**MOH. TOHA**

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

N a m a : MOH. TOHA

Tempat, tanggal lahir : Demak, 4 Pebruari 1962

Agama : Islam

Alamat : RT. 08/ RW. 02 Kelurahan Patukangan, Jalan Laut  
No. 16 A Kendal, Telpon (0294) 382416

Pendidikan : - SD Negeri 1 Jatisono Kec. Gajah Kab. Demak lulus  
Tahun 1985  
- SMP Negeri 2 Demak, lulus Tahun 1977  
- SMA Negeri Demak, lulus Tahun 1981  
- D III Politeknik Undip, lulus Tahun 1986  
- S1 Teknik Sipil Undararis Ungaran, lulus Tahun  
1997  
- S2 ( Program Pasca Sarjana ) Megister Ilmu  
Lingkungan Undip Semarang, lulus Tahun 2003.

Pekerjaan : - Staf Teknik DPUK Kendal, Tahun 1988  
- Kasubsi. Teknik Jalan & Pengairan DPUK Kendal,  
Tahun 1991.  
- Kasubsi. Perencanaan Teknik DPUK Kendal,  
Tahun 1998  
- Kasi. Pembangunan dan Pengkatan Jalan DPUK  
Kendal, Tahun 2001  
- Kasubdin Cipta Karya DPUK Kendal, tahun 2002

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah swt yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya, sehingga penelitian dan penulisan Tesis yang berjudul **“MODEL TRANSPORT KONTAMINAN SENYAWA BESI ( II ) DALAM TANAH ( STUDI KASUS PADA TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR ( TPA ) SAMPAH DI DESA JATIREJO KECAMATAN NGAMPEL KABUPATEN KENDAL) “** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tesis ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan studi pustaka, untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menyelesaikan Studi program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro Semarang.

Atas terselesainya Tesis ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Direktur Program Pasca Sarjana, Penanggung Jawab dan Pengelola Program Megister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang, yang telah memberikan fasilitas kepada penulis selama mengikuti pendidikan.
2. Bapak Dr. Ir. Purwanto, DEA dan Ibu Ir. Dwi Handayani, MS. Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan, saran dan dorongan moril selama penelitian hingga selesainya tesis ini.
3. Seluruh staf pengajar yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat, serta semua karyawan dan rekan studi Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang, yang telah banyak membantu selama studi.

4. Istri penulis tercinta, WPR. Anjani Dewi, serta kedua ananda Mochammad Faizal Amry dan Mochammad Chaqqul Islam, yang selalu memberikan semangat, perhatian, dan pengertiannya dengan penuh kesabaran selama penulis menempuh studi.
5. Kepala Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Kendal, yang telah memberikan ijin belajar, yang terkadang selama studi sedikit mengganggu dalam pelaksanaan tugas.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini, khususnya Ibu Dra Suparni Rahayu, Msi ( bu yayuk ) dan dik Wisnu.

Kepada mereka semua penulis tidak bisa memberikan imbalan dalam bentuk apapun, kecuali hanya bisa berdoa. semoga Allah swt memberikan balasan yang setimpal atas amal kebaikan kepada penulis, amiin.

Dengan kerendahan hati penulis menyadari akan keterbatasan kemampuan penulis, oleh sebab itu kepada semua pihak yang berkenan memberikan saran dan kritik yang membangun, penulis sampaikan terima kasih.

Akhirnya, semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat memberikan sumbangan bagi pengembangan dan kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Ilmu Lingkungan.

Semarang, Agustus 2003

Penulis,

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan I .....	ii
Lembar Pengesahan II .....	iii
Pernyataan .....	iv
Daftar Riwayat Hidup Penulis .....	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Lampiran.....	xvi
Ringkasan.....	xviii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Karakteristik Tanah.....	6
2.1.1. Karakteristik Fisika.....	6



2.1.2.	Karakteristik Kimia Tanah.....	7
2.2.	Air Tanah.....	8
2.3.	Transport Kontaminan Pada Air Tanah.....	9
2.3.1.	Proses Transport.....	9
2.3.2.	Adveksi.....	11
2.3.3.	Dispersi.....	12
2.3.4.	Retardasi.....	15
2.3.5.	Transport Zat Terlarut Non Reaktif melalui medium berpori yang homogen.....	17
2.3.6.	Transport zat terlarut non reaktif melalui medium berpori yang heterogen.....	17
2.3.7.	Transport Zat Terlarut Reaktif Melalui Medium Berpori.....	18
2.3.8.	Sorpsi-desorpsi.....	20
2.3.8.1.	Prinsip dasar.....	20
2.3.8.2.	Sorpsi-desorpsi.....	20
2.3.9.	Model Sorpsi.....	22
2.3.9.1.	Isoterm sorpsi linier.....	22
2.3.9.2.	Isoterm sorpsi non linier.....	22
2.3.10.	Kinetic Approach.....	25
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>27</b>
3.1.	Kerangka Pemikiran.....	27
3.2.	Eksperimen di Lapangan.....	27

3.2.1.	Pengukuran Jarak dan Ketinggian.....	28
3.2.2.	Pengukuran Konsentrasi Fe.....	28
3.3.	Eksperimen di Laboratorium.....	28
3.3.1.	Media percobaan.....	28
3.3.2.	Bahan kontaminan.....	29
3.3.3.	Metode Percobaan.....	30
3.3.3.1.	Penelitian Pendahuluan.....	30
3.3.3.2.	Eksperimen batch.....	31
3.3.3.3.	Eksperimen kolom.....	32
3.4.	Metode Analisis.....	36
3.5.	Metode Perhitungan.....	36
<b>BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>39</b>
4.1.	Percobaan Pendahuluan.....	39
4.1.1.	Pemeriksaan Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Tanah.....	39
4.1.1.1.	Karakteristik Fisika Tanah.....	40
4.1.1.2.	Karakteristik Kimia Tanah.....	40
4.1.2.	Penurunan Konsentrasi $\text{Fe}^{2+}$ Terhadap Jarak.....	41
4.2.	Eksperimen di Laboratorium.....	45
4.2.1.	Eksperimen Batch.....	45
4.2.1.1.	Isoterm Keseimbangan Sorpsi.....	45
4.2.1.2.	Model sorpsi kinetik atau sorpsi yang tergantung pada waktu.....	46

4.2.1.3. Eksperimen sorpsi besi (II) pada tanah dari eksperimen Batch.....	46
4.2.1.4. Laju reduksi kontaminan $\text{Fe}^{2+}$ .....	49
4.2.1.5. Waktu Defensi.....	51
4.2.2. Eksperimen Kolom Dispersi.....	52
4.2.3. Eksperimen Kolom Sorpsi.....	54
4.2.3.1. Eksperimen kolom untuk menentukan bentuk sorpsi tanah.....	54
4.2.3.2. Pengaruh konsentrasi influen.....	54
4.2.3.3. Pengaruh laju limpasan.....	56
4.3. Pemodelan untuk Eksperimen Kolom.....	57
 BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1. Kesimpulan.....	63
5.2. Saran.....	64

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Karakteristik Fisika Tanah dari Desa Jatirejo.....	39
Tabel 4.2	Karakteristik Kimia Tanah dari Desa Jatirejo.....	39
Tabel 4.3.	Penurunan konsentrasi besi terhadap jarak.....	41
Tabel 4.4.	Harga $R^2$ percobaan untuk tiap-tiap waktu pada grafik penentuan model Freundlich.....	48
Tabel 4.5.	Hasil analisis data eksperimen kolom dispersi.....	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Efek dispersi – adveksi pada berbagai konsentrasi.....	16
Gambar 2.2. Pengaruh Retardasi pada Perpindahan Larutan.....	17
Gambar 2.3. Pengaruh lapisan terhadap pola aliran zat terlarut dalam air tanah, (a) kondisi batas; (b) akuifer homogen; (c) lapisan dengan permeabilitas tinggi; (d) dua lapisan dengan permeabilitas rendah; (e) dua lapisan dengan permeabilitas tinggi.....	19
Gambar 3.1. Skema Konstruksi Kolom Eksperimen.....	34
Gambar 4.1. Peta pengambilan sampel di beberapa sumur di Desa Jatirejo.....	42
Gambar 4.2. Hubungan antara konsentrasi besi dengan jarak.....	43
Gambar 4.3. Penggambaran model yang didapat ke dalam koordinat kartesius...	44
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara konsentrasi besi (II) yang didapat dari data lapangan dan dari model yang didapat.....	45
Gambar 4.5. Kurva penurunan konsentrasi $Fe^{++}$ pada tanah.....	47
Gambar 4.6. Isoterm kesetimbangan sorpsi Ferro pada tanah dari eksperimen batch.....	47
Gambar 4.7. Grafik hubungan antara model sorpsi yang didapat dengan percobaan batch.....	49
Gambar 4.8. Grafik hubungan antara C model sorpsi kinetik dengan C hasil percobaan.....	51

Gambar 4.9. Waktu Detensi 120 jam.....	52
Gambar 4.10. Kurva konsentrasi relatif vs angka pori untuk mencari koefisien dispersi.....	53
Gambar 4.11. Contoh kurva perbandingan pola sorpsi dengan memvariasikan konsentrasi influen dengan laju limpasan sama (50 ml/hari).....	54
Gambar 4.12. Contoh grafik perbandingan efisiensi penurunan konsentrasi $Fe^{++}$ dengan konsentrasi berbeda, laju limpasan sama (50 ml/hari).....	55
Gambar 4.13. Contoh kurva perbandingan pola sorpsi dengan memvariasikan laju limpasan influen dengan konsentrasi sama (10 mg/l).....	56
Gambar 4.14. Grafik antara $\ln \left( \frac{C_o}{C} - 1 \right)$ vs volume untuk $C_o = 5$ mg/l dan laju limpasan 30 ml/hari.....	57
Gambar 4.15. Grafik antara $\ln \left( \frac{C_o}{C} - 1 \right)$ vs volume untuk $C_o = 10$ mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari.....	58
Gambar 4.16. Grafik antara $\ln \left( \frac{C_o}{C} - 1 \right)$ vs volume untuk $C_o = 5$ mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari.....	58
Gambar 4.17. Grafik antara $\ln \left( \frac{C_o}{C} - 1 \right)$ vs volume untuk $C_o = 10$ mg/l dan laju limpasan 30 ml/hari.....	59
Gambar 4.18. Grafik penyimpangan antara model yang memiliki konsentrasi berbeda dengan percobaannya.....	61

Gambar 4.19. Grafik penyimpangan antara model yang memiliki laju limpasan  
berbeda dengan percobaannya.....

61

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 4.1	<p>Tabel 1. Keseimbangan rata-rata antara fase tanah dan larutan untuk konsentrasi awal besi (Ferro) 10 mg/l DATA EKSPERIMEN BATCH..... A</p> <p>Tabel 2. Keseimbangan rata-rata antara fase tanah dan larutan untuk konsentrasi awal besi (Ferro) 20 mg/l DATA EKSPERIMEN BATCH..... A</p> <p>Tabel 3. Keseimbangan rata-rata antara fase tanah dan larutan untuk konsentrasi awal besi (Ferro) 30 mg/l DATA EKSPERIMEN BATCH..... B</p> <p>Tabel 4. Keseimbangan rata-rata antara fase tanah dan larutan untuk konsentrasi awal besi (Ferro) 50 mg/l DATA EKSPERIMEN BATCH..... B</p> <p>Tabel 5. Keseimbangan rata-rata antara fase tanah dan larutan untuk konsentrasi awal besi (Ferro) 70 mg/l DATA EKSPERIMEN BATCH..... C</p> <p>Tabel 6. Keseimbangan rata-rata antara fase tanah dan larutan untuk konsentrasi awal besi (Ferro) 100 mg/l DATA EKSPERIMEN BATCH..... C</p>
LAMPIRAN 4.2.	<p>Data isoterm keseimbangan sorpsi tanah terhadap ferro..... D</p>



LAMPIRAN 4.3.	Konstanta laju kinetik pada percobaan batch.....	H
LAMPIRAN 4.4.	Tracer KCl    Tabel 1.....	I
	Tabel 2.....	J
	Tabel 3.....	K
	Tabel 4.....	L
	Tabel 5.....	M
LAMPIRAN 4.5.	Eksperimen kolom .....	N
LAMPIRAN 4.6	Persentasi sorpsi Ferro pada kolom .....	R
LAMPIRAN 4.7	Data perhitungan faktor retardasi ( R ) dan konduktivitas hidrolik (K).....	Z
LAMPIRAN A	ANALISA KLOOR AKTIF DENGAN METODA IODOMETRI.....	BB
LAMPIRAN B	ANALISA BESI (Fe) – SPEKTROFOTOMETRI..	GG
LAMPIRAN C	PEMERIKSAAN GRADASI.....	LL
LAMPIRAN D	PENENTUAN PARTIKEL DENSITY TANAH.....	MM
LAMPIRAN E	PENENTUAN BULK DENSITY TANAH.....	NN
LAMPIRAN F	DATA EKSPERIMEN KOLOM DISPERSI.....	OO

## RINGKASAN

Salah satu sebab terjadinya pencemaran air tanah adalah adanya lindi (leachate) yang berasal dari adanya tumpukan sampah (limbah padat). Penempatan TPA sampah yang berdekatan dengan kampung seperti pada TPA Sampah di Desa Jatirejo Kecamatan Ngampel Kabupaten Kendal, dimana sebagian penduduknya menggunakan air dari sumur, hal ini dapat memberikan dampak kesehatan yang kurang baik bagi masyarakat yang bermukim di tempat tersebut.

Salah satu kandungan air lindi yang cukup menonjol di sekitar TPA tersebut adalah senyawa Fe, dimana tanda-tanda secara fisik yaitu air tampak kekuning-kuningan. Bila senyawa  $Fe^{++}$  ini ikut mengalir pada air yang masuk ke sumur-sumur penduduk, maka akan menyebabkan kandungan  $Fe^{++}$  pada sumur meningkat.

Penelitian dilakukan dengan mengukur jarak sumur terhadap sumber air lindi dan kandungan Fe dari air sumur tersebut. Diuji di laboratorium, dari sinilah akan didapat suatu model penurunan konsentrasi Fe terhadap jarak.

Untuk penelitian ini mode lapangan yang didapat adalah :

$$Y = -0,04625 + (7,68625)(0,27852)^x$$

Dimana :  $x$  = jarak sumur terhadap titik sumber lindi

$y$  = adalah besarnya konsentrasi Fe dalam mg/l.

Untuk memprediksi laju penyebaran kontaminan dalam tanah diperlukan suatu pendekatan yang biasa diterapkan yaitu dengan menggunakan teori sorpsi-desorpsi dan transport kontaminan dalam tanah.

Oleh sebab itu diperlukan suatu model, dimana model yang paling sederhana adalah model satu dimensi yang dapat diterapkan dalam kolom percobaan di laboratorium maupun di lapangan.

Pada reaksi sorpsi-desorpsi dapat berlangsung secara instantaneus yang diasumsikan tercapai setelah 120 jam dan reaksi kinetik yang tergantung pada waktu kontak antara tanah dengan kontaminan

Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

- Eksperimen batch, untuk menentukan tingkat sorpsi tanah terhadap Fe dalam kondisi statis.
- Eksperimen kolom, untuk menentukan koefisien dispersi hidrodinamis tanah dan tingkat sorpsi tanah terhadap Fe dalam kondisi dinamis.

Sampel tanah diambil dari tanah yang berada di sekitar sumur-sumur yang menjadi obyek penelitian, kemudian dilakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui sifat-sifat karakteristik fisika dan kimia tanah. Pada penelitian ini digunakan tebal tanah dalam kolom 10 cm.

Dari eksperimen batch maupun dari eksperimen kolom sorpsi tanah di sekitar TPA Jatirejo tingkat penyerapan tanah untuk kolom setebal 10 cm rata-rata sebesar 21,69 %.

Adapun model yang didapat dari eksperimen batch adalah sebagai berikut :

a. Untuk isoterm kesetimbangan sorpsi ferro

$$x/m = 81,208 C^{0,6812}$$

b. Untuk isoterm kesetimbangan sorpsi kinetik ferro

$$C = C_0 e^{-0,04t}$$

Sedangkan model yang didapat dari eksperimen kontinyu ( kolom ) adalah sebagai berikut :

a. Untuk  $C_0 = 5$  mg/l dan laju limpasan 30 ml/hari

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,320}{Q}(1,877 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V)}$$

b. Untuk  $C_0 = 10$  mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,116}{Q}(1,193 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V)}$$

c. Untuk  $C_0 = 5$  mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,776}{Q}(4,021 \cdot 10^{-10} \cdot M - C_0 \cdot V)}$$

d. Untuk  $C_0 = 10$  mg/l dan laju limpasan 30 ml/hari

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,307}{Q}(1,544 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V)}$$

Kurva breaktrough dari hasil eksperimen kolom sorpsi tidak banyak penyimpangan sehingga dapat dikatakan bahwa model sorpsi dan transport dapat diterapkan.

## SUMMARY

One of the cause the happening of contamination of ground water is the existence of leachate coming from existence of scrapheap ( solid waste ). Location of TPA garbage which nearby village like TPA Garbage in Countryside of Jatirejo District Of Ngampel Sub-Province of Kendal, where some of its resident use water of well, this matter can give unfavourable health impact to society which living the in place.

One of the content leachate which uppermost enough around the TPA is compound of Fe, where marking physically that is yellowish visible water. If compound of  $Fe^{2+}$  this follow to emit a stream of water which step into resident wells, hence will cause content of  $Fe^{2+}$  at well mount.

Research with measuring well distance to source of water of lindi content and of Fe of the well water tested in laboratory, from here will be got a model degradation of concentration of Fe to distance.

For this research the got is :

$$Y = -0,04625 + (7,68625) (0,27852)^x$$

Where :  $x$  = well distance to dot offis source of lindi in m

$y$  = the level of concentration of Fe in mg / l

For prediction spreading of kontaminan in land needed by an approach which is ordinary to be applied that is by using theory of sorbsi-desorbsi and transport of contaminant in land.

On that account needed an model, where simplest model is model one dimension able to be applied in columns attempt in laboratory and also in field.

At reaction of sorpsi-desorpsi can take place by instantaneous which assumed to be reached after 120 kinetic reaction and hour which depend on time contact between land with contaminant

Research with laboratory scale which consist of two bodywork, that is :

- Batch experiment, to determine storey; level of sorpsi land to static  $Fe^{2+}$  in a condition
- Column experiment, to determine coefficient of dispersi land hidrodinamis and storey; level of sorpsi land; ground to dynamic Fe in a condition

Soil Sampel taken away from soil residing in around wells becoming research object, then research of antecedent to know the nature of physics characteristic and soil chemistry. At this research used is thick of soil in columns 10 cm

Of batch experiment and also from column experiment of sorpsi soil around TPA Jatirejo mount absorbtion of soil for column as thick as 10 mean cm equal to 21,69 %.

As for got model is batch eksperiment shall be as follows :

a. For balance isotherm of ferro sorpsi

$$x/m = 81,208 C^{0,6812}$$

b. For balance isotherm of kinetic sorpsi of ferro

$$C = C_0 e^{-0,04t}$$

While got model of experiment of continyu ( column ) shall be as follows

b. For  $C_0 = 5$  mg/l and flow rate 30 ml/dayi

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{0,320/q^{(1,877 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V)}}$$

b. For  $C_0 = 10$  mg/l and flow rate 50 ml/day

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{0,116/q^{(1,193 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V)}}$$

c. For  $C_0 = 5$  mg/l and flow rate 50 ml/day

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{0,776/q^{(4,021 \cdot 10^{-10} \cdot M - C_0 \cdot V)}}$$

d. For  $C_0 = 10$  mg/l and flow rate 30 ml/dayi

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,307}{1,544 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V'}}$$

*curve of Breaktrough from result of column experiment of sorpsi not many deviation so that can be said that by] model of sorpsi and of transport can be applied.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Air tanah adalah merupakan salah satu sumber air yang sangat diperlukan untuk segala kegiatan manusia, baik sebagai sumber air yang digunakan untuk kebutuhan rumah tangga (minum, mandi, mencuci dan sebagainya), untuk kegiatan industri, perikanan, pertanian, kehutanan dan lain sebagainya. Untuk itu air tanah harus mempunyai baku mutu yang baik sesuai dengan keperuntukannya. Belakangan akibat aktivitas manusia di permukaan bumi justru menimbulkan air tanah itu sendiri mengalami kontaminasi. Menurut Wolfgang Kinzelbach (1986) kontaminasi air tanah antara lain disebabkan oleh :

- a. Adanya kegiatan pertanian yang banyak menggunakan pestisida, pupuk sehingga air yang ada di sawah mengandung racun dan zat-zat kimia yang lain, sedangkan air di sawah itu sendiri mengalami rembesan kebawah hingga suatu saat sampai pada muka air tanah.
- b. Terjadinya intrusi air laut karena pengambilan dari sumur-sumur pompa ataupun sumur yang dangkal secara berlebihan sehingga muka air tanah mengalami penurunan yang drastis, dan apabila hal ini terjadi pada daerah dekat air laut, maka air laut akan masuk kepermukaan air tanah.
- c. Adanya pengambilan air tanah melalui instalasi pipa, dimana pipa tersebut mungkin mengalami kebocoran ataupun korosi, sehingga kebocoran tersebut masuk air tanah.
- d. Adanya kebocoran pada pipa penyalur minyak yang ditanam di dalam tanah, sehingga minyak tersebut masuk ke permukaan air tanah.
- e. Terjadinya lindian ( leachate ) pada tumpukan limbah padat yang terlarut bersama air hujan sehingga turun ke bawah sampai pada muka air tanah.
- f. Adanya limbah cair maupun lumpur pada permukaan tanah atas yang mengalami seepage sehingga suatu saat sampai pada muka air tanah.

- g. Adanya kebocoran pada tangki minyak atau bahkan zat radio aktif yang merembes turun kebawah sehingga sampai pada muka air tanah.

Apabila air tanah telah mengalami salah satu atau lebih kejadian yang disebutkan di atas, maka sejak itulah air tanah mengalami pencemaran (polusi). Pencemaran/kontaminasi itu sendiri terjadi sejak air tanah berhubungan dengan suatu aliran air yang secara kontinyu membawa polutan. Polutan yang masuk ke muka air tanah sesuai dengan jenis polutan yang dibawa oleh zat cair tersebut. Salah satu kontaminasi sebagaimana yang telah disebutkan di atas adalah adanya tumpukan sampah padat pada tempat pembuangan akhir ( TPA ) yang dapat mencemari sumur-sumur yang ada di sekitarnya. Salah satu kasus yang patut untuk diteliti adalah TPA yang berada di Desa Jatirejo Kecamatan Ngampel Kabupaten Kendal. Penempatan TPA ini ada di dekat permukiman  $\pm$  300 meter, namun yang lebih membahayakan adalah adanya buangan air lindi ( Leachate ) dari TPA tersebut yang dibuang pada selokan yang melintas di tengah-tengah pemukiman penduduk , sedangkan air lindi itu sendiri tanpa di treatment terlebih dahulu dan langsung dibuang begitu saja, sementara di tempat pemukiman tersebut terdapat beberapa sumur untuk keperluan rumah tangga.

Kemungkinan yang terjadi adalah adanya pencemaran air lindi ( leachate ) yang mengalir masuk ke sumur-sumur rakyat tersebut.

Menurut Penelitian pendahuluan bahwa konsentrasi polutan pada lindi (leachete) dari limbah padat domestik di TPA Sampah Jatirejo Kecamatan Ngampel Kabupaten Kendal, yang cukup menonjol adalah Iron (besi / Fe), dengan nilai konsentrasi sebesar 7,64 mg/liter seperti terlihat pada lampiran 1.1. Sedangkan contoh polutan lain yang ditimbulkan adanya lindi sampah adalah seng, fosfat, sulfat, clorida, sodium, nitrogen, nikel dan sebagainya.

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/Menkes/SK/VII/2002 pada lampiran 1.2, bahan kimia yang kemungkinan menimbulkan keluhan pada konsumen dengan kadar maksimum yang diperbolehkan untuk besi adalah

0,3 mg/liter, maka pencemaran oleh lindi air sampah sangat besar ( $7,64 \text{ mg/l} > 0,3 \text{ mg/l}$ ). Kandungan besi yang besar memang tidak begitu pengaruh terhadap kesehatan secara langsung, namun kandungan besi yang tinggi dapat menimbulkan warna yang kuning dan bila air ini digunakan untuk mencuci maka dapat merusak warna dari pakaian yang dicuci tersebut. Hal lain tentunya berkaitan dengan adanya baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah sebagaimana yang disebutkan, agar jangan sampai terlampaui.

Kandungan besi yang besar pada lindi sampah domestik tersebut, maka sangat dimungkinkan air sumur di sekitar TPA terkena pencemaran. Apalagi bila diamati penumpukan sampah pada TPA tersebut tidak sesuai dengan aturan konstruksi yang benar, seperti tidak adanya dinding pembatas luar yang semestinya harus kedap air, sampah hanya di buang di areal pembuangan dengan keadaan terbuka, saluran pembuangan air lindi yang dibuang keluar tanpa di treatment terlebih dahulu, dan masih banyak lagi hal-hal lain yang tidak memenuhi teknis yang benar dalam penampungan sampah.

Berkaitan dengan hal-hal tersebut untuk membuktikan adanya kontaminan dari lindi sampah yang ke sumur-sumur perlu dilakukan suatu analisa transport dari salah satu jenis senyawa yang ada pada air tersebut, secara langsung maupun yang dibuat dengan simulasi di laboratorium. Metode yang digunakan untuk menyatukan antara teori sistem fisika dengan studi laboratorium yaitu dengan mengevaluasi parameter fisik air, gerakan dari polutan dan karakteristik dari tanahnya itu sendiri. Pola penyebaran kontaminan yang terlarut dari air tanah dipengaruhi oleh berbagai proses, diantaranya adalah proses fisik, proses kimia dan biologi (Metcalf dan Edy, 1991).

Pengaruh proses tersebut meliputi jangkauan penyebaran dan perubahan konsentrasi kontaminan, yang dalam hal ini tergantung pada karakteristik kontaminan dan karakteristik media yang dilaluinya. Untuk dapat memprediksi pola transport kontaminan tersebut diperlukan suatu model. Salah satu model yang paling sederhana adalah model satu dimensi. Model ini disamping



bentuknya yang sederhana, juga dapat diaplikasikan dalam kolom percobaan di laboratorium dan dapat pula diterapkan pada kasus-kasus di lapangan yang berdimensi dua serta pengaliran kontaminan arah vertikal (Kinzelbach, 1986).

## 1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah.

Karena air tanah merupakan salah satu sumber air yang sangat diperlukan oleh masyarakat Desa Jatirejo dan sekitarnya khususnya untuk minum, mandi dan mencuci, maka air tanah yang dipergunakan tersebut haruslah air tanah yang tidak terkontaminasi dan memenuhi baku mutu yang ditentukan, sesuai Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 907 tahun 2002.

Bila akibat adanya Tempat Pembuangan Akhir ( TPA ) sampah tersebut ternyata menyebabkan terjadinya kontaminasi pada sumur-sumur yang ada di sekitarnya, dimana air tersebut banyak dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, maka hal ini akan mengganggu dan tidak sesuai peruntukannya.

Oleh karenanya hal-hal yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah :

- a. Terjadinya pencemaran di beberapa sumur penduduk disekitar Tempat Pembuangan Akhir ( TPA ) Sampah Jatirejo yang disebabkan adanya lindi, khususnya senyawa besi II (  $\text{Fe}^{2+}$  ) dari TPA tersebut.
- b. Belum diketahuinya tingkat Sorpsi tanah di sekitar TPA Sampah Jatirejo terhadap kontaminan besi II (  $\text{Fe}^{2+}$  ).
- c. Belum adanya model transpor besi II (  $\text{Fe}^{2+}$  ) di sekitar tanah TPA Sampah Jatirejo.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

- a. Mengetahui pengaruh pencemar polutan khususnya senyawa besi II ( $\text{Fe}^{2+}$ ) yang ditimbulkan dari aliran buangan sampah yang disebut leachate (lindi) TPA Sampah di Desa Jatirejo Kecamatan Ngampel Kabupaten Kendal terhadap air tanah di sekelilingnya.
- b. Mengetahui tingkat sorpsi tanah terhadap kontaminan senyawa besi II ( $\text{Fe}^{2+}$ ) pada tanah di sekitar TPA Sampah Jatirejo.
- c. Mengetahui Model transport besi II ( $\text{Fe}^{2+}$ ) pada tanah di sekitar TPA Sampah Jatirejo yang disebabkan dari lindi TPA Sampah Jatirejo

#### **1.4. Manfaat Penelitian.**

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai :

- a. Bahan masukan bagi Pemerintah Kabupaten dalam rangka perencanaan TPA sampah yang benar, agar tidak memberikan dampak yang negatif terhadap lingkungan di sekitarnya.
- b. Bahan masukan terhadap pengelolaan buangan lindi ( leachate ) pada TPA Sampah Jatirejo, sehingga tidak mencemari sumur-sumur penduduk di sekitarnya.
- c. Bahan pertimbangan dalam rangka penggunaan tata guna lahan yang benar, khususnya di sekitar TPA sampah Jatirejo.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Karakteristik Tanah.**

Berkaitan dengan aliran air dalam tanah, maka sifat-sifat atau karakteristik tanah perlu untuk diidentifikasi. Karakteristik tanah yang perlu untuk diketahui meliputi :

- a. Karakteristik Fisika
- b. Karakteristik Kimia
- c. Karakteristik Biologis

##### **2.1.1. Karakteristik Fisika**

Tanah terdiri dari empat komponen utama, yaitu partikel-partikel inorganik, bahan organik, air dan udara yang perbandingannya sangat bervariasi sesuai dengan jenis tanah, kedalaman dan lokasi lingkungannya. Beberapa sifat fisika tanah yang terpenting adalah tekstur, struktur, densitas (kerapatan), porositas, konsistensi, warna dan suhu (Hakim dkk, 1992).

Dalam pembahasan disini dibatasi pada sifat-sifat fisika tanah yang berkaitan dengan masalah transport zat terlarut dalam tanah, yaitu permeabilitas tanah.

Tekstur tanah secara garis besar diklasifikasikan dalam tiga fraksi utama yaitu :

- a. Pasir ( sand ), dengan diameter butiran 0,05 – 2,00 mm
- b. Debu atau lanau ( silt ), dengan diameter butiran 0,002 – 0,05 mm
- c. Lempung atau liat ( clay ), dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm

Tekstur tanah penting diketahui karena komposisi dari ketiga fraksi butir-butir tanah tersebut akan menentukan sifat-sifat fisika, fisika – kimia dan kimia tanah. Tekstur tanah sangat menentukan sifat permeabel tanah dan tingkat sorpsi terhadap suatu massa zat yang terlarut dalam tanah.

### Permeabilitas Tanah.

**Permeabilitas tanah** atau konduktivitas tanah hidrolis adalah merupakan kemampuan media untuk menghantarkan atau dilewati air.

Menurut Darcy, aliran tanah berlaku persamaan :

$$V = -K \frac{dh}{dl} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

V = kecepatan superficial ( m/dt )

K = permeabilitas hidrolik ( m/dt )

dh/dl = gradien hidrolik ( m/m )

#### 2.1.2. Karakteristik Kimia Tanah

Tanah merupakan suatu sistem yang kompleks dimana serangkaian reaksi fisika, kimia dan geologi dapat berlangsung pada tingkat yang berbeda-beda, tergantung pada kondisi sistem tersebut. Apabila polutan terjadi kontak dengan tanah maka berbagai reaksi dapat terjadi. Reaksi-reaksi yang mempengaruhi konsentrasi polutan dalam kesetimbangan tanah dan larutan dapat digolongkan sebagai berikut ( Notodarmoyo.S, 1991 ) :

- a. Presipitasi ( hujan dan salju )
- b. Sorpsi – desorpsi
- c. Immobilisasi – dekomposisi
- d. Plant uptake.

Presipitasi hanya berpengaruh pada konsentrasi polutan yang sangat tinggi ( Olsen dan Katanabe, 1957, Holford dan Matlinglf, 1975 ), sehingga peran presipitasi desolusi dalam transport zat tersebut kurang jelas, karena konsentrasinya dalam tanah pada umumnya relatif rendah.

Komponen kimia tanah berperan besar dalam menentukan sifat dan ciri tanah pada umumnya. Dalam pembahasan tentang sifat kimia tanah dibatasi pada masalah sorpsi – desorpsi dan pertukaran kation, yang merupakan salah satu fenomena proses sorpsi – desorpsi.

Kapasitas tukar kation ( KTK ) atau Cation Exchange Capacity (CEC) adalah suatu kemampuan koloid tanah untuk menjerap dan mempertukarkan kation yang dinyatakan dalam mili ekuivalen per 100 gram ( Tan, 1998 ). Penjerapan terjadi sebagai hasil dari penarikan ion positif oleh ion negatif yang ada pada permukaan mineral-mineral lempung, aluminium hidroksida, besi oksida dan bahan-bahan organik. KTK secara umum merupakan petunjuk terhadap kemampuan tanah untuk menyerap ion-ion positif dari air limbah.

Lapisan tanah dengan kandungan lempung dan bahan organik tinggi memiliki kemampuan sorpsi yang lebih tinggi dibanding dengan tanah jenis pasir. Kenyataan menunjukkan bahwa KTK dari berbagai tanah sangat beragam, bahkan tanah sejenis pun berbeda KTK-nya. Besarnya KTK dipengaruhi oleh sifat dan ciri tanahnya (Hakim dkk, 1986) antara lain :

- a. Reaksi tanah atau pH
- b. Tekstur tanah atau jumlah liat
- c. Jenis mineral liat
- d. Bahan organik.

## **2.2. Air Tanah**

**Air tanah** adalah air yang berada pada zona jenuh ( saturated ) yang berada di bawah permukaan air tanah dan air yang menempati ruang kosong diantara partikel tanah. Sumber dari semua air tanah adalah air hujan yang jatuh ke permukaan tanah dan masuk kedalam tanah dengan cara infiltrasi dan perkolasi. Air tanah tersimpan di dalam tanah pada suatu reservoir yang disebut **aquifer**.

**Aquifer** adalah suatu lapisan atau formasi batuan yang mempunyai struktur sedemikian rupa sehingga memungkinkan air bergerak di dalamnya (Todd, 1980). Aquifer itu sendiri oleh Todd dibedakan menjadi dua, yaitu *unconfined aquifer* dan *confined aquifer*.

**Confined aquifer** merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas dan bawahnya merupakan aquilude ( *impermeable layer* ) dan tekanan airnya lebih besar dari tekanan atmosfer, dimana pada pembatasnya tidak ada air yang mengalir ( Robert J Kodoatie, 1996 ).

**Unconfined aquifer** merupakan jenuh air, lapisan pembatasnya merupakan aquitard ( *semi impervius layer* ) hanya bagian bawahnya dan tidak ada pembatas bagian atasnya.

Sedangkan yang mempengaruhi kualitas air tanah yaitu :

- a. Faktor-faktor lingkungan fisik alami, yang meliputi faktor iklim, morfologi, faktor tanah vegetasi, terutama faktor litologi yang akan mempengaruhi konsentrasi unsur-unsur kimia dalam tanah.
- b. Faktor-faktor lingkungan fisik binaan, yaitu meliputi semua hasil aktivitas manusia termasuk buangnya yang berupa cair maupun padat.

### 2.3. Transport Kontaminan Pada Air Tanah

Transport kontaminan pada air tanah meliputi proses tranport itu sendiri dan perilaku dari kontaminan.

#### 2.3.1. Proses Transport.

Ketika kontaminan masuk kedalam air tanah, maka terjadi sebaran dan gerakan sebagai akibat dari :

- a. **Adveksi** yang disebabkan oleh aliran air tanah.
- b. **Dispersi** yang disebabkan oleh campuran mekanis dan difusi molekuler.
- c. **Retardasi** yang disebabkan oleh adsorpsi.

Hubungan matematik antar proses ini dapat dirumuskan ( Javandel, Doughtly dan Tsang, 1984 ):

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} (C v_i) - \frac{C' W'}{n} = R \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$v_i = - \frac{K_{ij}}{n} \frac{\partial h}{\partial x_j} \quad (2.3)$$

$$R = \left[ 1 + \frac{\rho_o K_d}{n} \right] \quad (2.4)$$

Dimana :

$C$  = konsentrasi kontaminan ( satuan berat per satuan volume )

$v_i$  = kecepatan rata-rata air arah  $x_i$  ( satuan jarak persatuan waktu )

$D_{ij}$  = Koefisien dispersi

$K_{ij}$  = Konduktivitas hidrolik

$C'$  = konsentrasi akhir dari sumber atau cair (satuan berat per satuan volume )

$W'$  = laju aliran volume per unit volume dari sumber atau sink ( satuan volume persatuan waktu )

$n$  = porositas ( prosen )

$h$  = tinggi hidrolik ( satuan panjang )

$R$  = faktor retardasi

$x_i$  = koordinat carteien

$K_d$  = koefisien adsorpsi

$\rho_o$  = bulk density tanah ( satuan berat persatuan volume )

Secara praktis digunakan persamaan dua dimensi untuk menjelaskan transport kontaminan pada air tanah. Pada kasus homogen, medium isotropis memiliki berbagai arah keadaan aliran steady (tunak), dengan kecepatan seepage  $v$ , maka persamaan (2.2) berubah menjadi ( Javandel, Doughtly dan Tsang, 1984 ):

$$D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} = R \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2.5)$$

Dimana :

$D_L$  = koefisien dispersi arah longitudinal

$D_T$  = koefisien dispersi arah transversal

$V$  = kecepatan air rata-rata ( satuan jarak per satuan waktu )

$t$  = waktu ( satuan waktu )

### 2.3.2. Adveksi

**Adveksi** adalah proses dimana air tanah yang mengalir mengangkut zat-zat terlarut. Sedangkan kontaminan bergerak bersama aliran air tanah menurut hukum Darcy. Hukum Darcy menyatakan bahwa laju aliran air di dalam tanah dari titik 1 ke titik 2 adalah proporsional terhadap kehilangan tinggi dan berbanding terbalik terhadap panjang aliran

$$Q = -K.A \frac{h_2 - h_1}{L} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$Q$  = laju aliran air tanah ( satuan volume per satuan waktu )

$A$  = luas aliran ( satuan luas )

$h_2 - h_1$  = kehilangan tinggi antara titik 1 dan titik 2 ( satuan panjang )

$L$  = jarak antara titik 1 dan titik 2 ( satuan panjang )

$K$  = konduktivitas hidrolik

Sedangkan kecepatan aliran dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$V = \frac{Q}{nA} = \frac{K}{n} \frac{h_2 - h_1}{L} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$Q$  = laju aliran air tanah ( satuan volume per satuan waktu )

$A$  = luas aliran ( satuan luas )

$h_2 - h_1$  = kehilangan tinggi antara titik 1 dan titik 2 ( satuan panjang )

$L$  = jarak antara titik 1 dan titik 2 ( satuan panjang )



- K = konduktivitas hidrolik  
 n = porositas tanah (prosen)  
 V = kecepatan aliran (satuan jarak perwaktu)

Selanjutnya manakala hanya adveksi yang diperhitungkan, suatu kontaminan bergerak bersama dengan aliran air tanah pada laju yang sama dan tidak ada pengaruh dari konsentrasi yang terserap. Kenyataannya bagaimanapun pergerakan kontaminan juga dipengaruhi oleh dispersi dan retardasi.

### 2.3.3. Dispersi

**Dispersi** adalah proses penyebaran kontaminan akibat adanya gradien kecepatan dalam pori-pori tanah. Dispersi merupakan hasil dari dua proses difusi molekuler dengan campuran mekanikal.

Sedangkan **difusi molekuler** adalah proses dimana ion atau molekul bergerak / pindah dari daerah konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah.

Difusi molekuler dapat dihitung dengan rumus Fick yaitu :

$$F = -D \frac{dC}{dx} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

F = fluks massa zat terlarut ( persatuan luas persatuan waktu )

D = koefisien difusi ( luas persatuan waktu )

C = konsentrasi kontaminan / zat terlarut ( massa per volume )

dC/dx = gradien konsentrasi ( massa / volume perjarak )

Tanda negatif merupakan perpindahan zat terlarut dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah.

Ketika hukum Fick I diaplikasikan pada media yang porous, koefisien difusi akan menjadi kecil, sebab ion menjadi lebih panjang mengecil antara partikel-partikel padat dan disebabkan oleh adsorpsi.

Untuk kation dan anion utama dalam air, harga  $D$  berkisar antara  $1 \times 10^{-9}$  sampai dengan  $2 \times 10^{-9}$ . Bila konsentrasinya berubah-ubah terhadap waktu, maka dipakai hukum Fick II yaitu :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

Kedua hukum Fick tersebut hanya untuk dimensi tunggal. Dalam medium berpori, difusinya tidak secepat difusi di dalam air karena ion-ion harus menempuh jarak yang lebih panjang ketika lewat butir-butir mineral.

Sedangkan besarnya koefisien difusi efektif ( $D^*$ ) dapat dihitung dengan rumus ( Fetter, 1988 ) berikut :

$$D^* = W \cdot D \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

$W$  = koefisien empiris yang lebih kecil dari 1 yang diperoleh dari hasil eksperimen laboratorium.

Menurut Perkins dan Johnston ( 1963 ) nilai pendekatan  $W = 0,707$  dan menurut Bear (1979) nilai  $W$  adalah ekuivalen terhadap lekuk-lekuk dari medium porous dengan nilai kurang dari 0,67.

**Campuran mekanis** adalah hasil dari berbagai variasi kecepatan yang ada pada suatu medium porous. Kecepatan lebih besar pada ruang tengah rongga antara partikel dengan sudut tepinya. Dispersi campuran mekanis dapat terjadi antara arah longitudinal aliran dengan arah transversi. Menurut Bachmat dan Bear ( 1964 ), komponen campuran mekanis dispersi dapat diasumsikan proporsional terhadap kecepatan seepage, sebagai :

$$D_{11} = a_L \cdot V \dots\dots\dots (2.11)$$

$$D_{22} = a_T \cdot V \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

$D_{11}$  = komponen campuran mekanis longitudinal dari dispersi.

$D_{22}$  = komponen campuran mekanis transversal dari dispersi.

$a_L$  = dispersivitas longitudinal

$a_T$  = dispersivitas transversal

$V$  = kecepatan air rata-rata ( satuan jarak persatuan waktu )

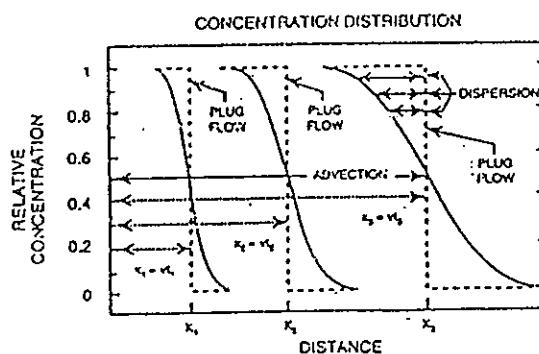
Akhirnya koefisien dispersi hidrodinamik dapat dihitung sebagai berikut (Bachmat dan Bear 1964 ):

$$D_L = D_{11} + D_i = a_L \cdot V + D^* \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$$D_T = D_{22} + D_i = a_T \cdot V + D^* \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Koefisien dispersivitas  $a_L$  dan  $a_T$  adalah tergantung karakteristik medium porous. Nilai yang mewakili koefisien dispersivitas dapat dihitung dari test kolom breakthrough di laborat atau test di lapangan ( Anderson 1979 ).

Pada Gambar 2.1 terlihat bahwa bagaimana dispersi dapat disebabkan oleh beberapa kontaminan yang bergerak lebih cepat dari pada kecepatan rata-rata air tanah, dan beberapa kontaminan bergerak lebih lambat dari pada kecepatan rata-rata air tanah.



**Gambar 2.1. Efek dispersi – adveksi pada berbagai konsentrasi**  
**Sumber : Seminar Publication EPA/625/4-89/019 ( Cincinnati : US EPA )**

### 2.3.4. Retardasi

**Retardasi** dalam pemindahan kontaminan pada air tanah adalah hasil dari adsorpsi mekanis untuk konstituen organik dan inorganik. Zat terlarut dalam fluida dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu konservatif dan reaktif. Zat terlarut konservatif tidak bereaksi dengan tanah dan atau air tanah atau mengalami peluruhan biologis atau radioaktif, misalnya ion klorida.

Faktor retardasi dapat dihitung dengan rumus ( Javandel, Doughtly dan Tsang, 1984 ):

$$R = \left[ 1 + \frac{\rho_o \cdot K_d}{n} \right] \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana :

$R$  = faktor retardasi ( tanpa satuan )

$K_d$  = koefisien adsorpsi ( satuan luas persatuan waktu )

$\rho_o$  = bulk density tanah ( satuan berat persatuan volume )

$n$  = porositas tanah ( prosen )

Sedangkan kecepatan kontaminan pada air tanah dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_c = \frac{V}{R} \dots \dots \dots (2.16)$$

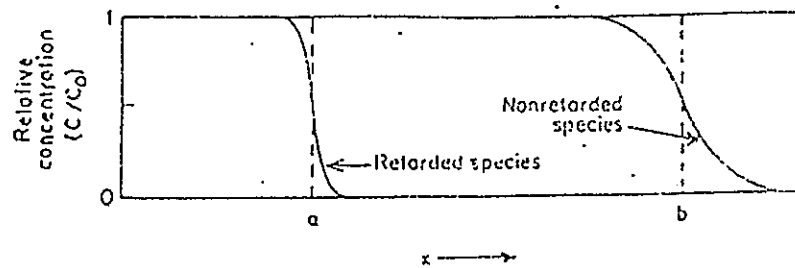
Dimana :

$V_c$  = kecepatan kontaminan ( satuan jarak persatuan waktu )

$V$  = kecepatan aliran air tanah ( satuan jarak persatuan waktu )

$R$  = retardasi.

Secara ilustratif, efek dari retardasi ini terhadap zat konsevatif dan non konservatif ditunjukkan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.2. Pengaruh Retardasi pada Perpindahan Larutan .Sumber : Fetter, 1988.

Zat-zat reaktif bisa mengalami perubahan kimia, biologis atau radioaktif yang cenderung memperkecil konsentrasi zat terlarut. Reaksi kimia tersebut meliputi adsorpsi – desorpsi, pertukaran kation, pengendapan – penguraian dan oksidasi reduksi. Reaksi-reaksi biologis bisa bersifat aerobik dan anaerobik. Besarnya sorpsi – desorpsi atau pertukaran kation antara suatu zat terlarut dengan satu jenis tanah dapat ditentukan melalui eksperimen.

Studi sorpsi di laboratorium melibatkan penggunaan suatu tanah spesifik dan zat terlarut tertentu. Dalam salah satu pendekatan, larutan zat-zat ionik disiapkan dalam berbagai konsentrasi. Untuk masing-masing sediaan larutan ini, suatu masa tanah kering yang telah ditimbang dicampur dengan sebagian larutan tersebut, masing-masing bagian mempunyai konsentrasi berbeda. Setelah kesetimbangan antara tanah dengan larutan ditentukan, konsentrasi setimbang zat terlarut dalam masing-masing sediaan larutan tersebut ditentukan. Jumlah zat terlarut yang teradsorpsi pada permukaan tanah sama dengan selisih massa zat terlarut di dalam larutan sebelum pengujian dan pada saat tercapainya kesetimbangan.

Sebagai hasil pengujian untuk masing-masing sediaan larutan, kita dapat mengetahui massa zat yang diserap persatuan berat tanah (  $S$  ), yang merupakan fungsi konsentrasi setimbang zat terlarut yang tersisa di dalam larutan (  $C$  ).

### 2.3.5. Transport Zat Terlarut Non Reaktif melalui medium berpori yang homogen

Yang dimaksud dengan zat terlarut non reaktif adalah zat terlarut yang selama pergerakannya tidak mengalami reaksi kimiawi, transformasi biologi dan peluruhan. Transport zat terlarut melalui suatu medium berpori non reaktif merupakan efek gabungan dari adveksi dan dispersi hidrodinamis. Persamaan diferensial parsial yang digunakan untuk menjelaskan transport zat terlarut berdimensi satu melalui medium homogen selama berlangsungnya aliran mantap diberikan dalam rumus sebagai berikut (Kinzelbahch, 1986, Fetter, 1988; Mathew et al, 1982) :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_x \frac{\partial C}{\partial x} \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan penjelasan :

$D_L$  = koefisien dispersi longitudinal ( $\text{cm}^2/\text{hari}$ )

$C$  = konsentrasi zat terlarut ( $\text{mg/l}$ )

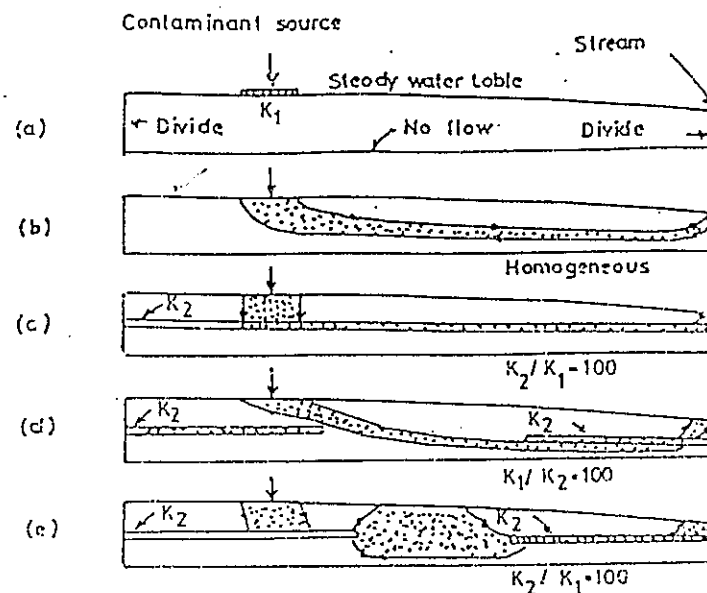
$V_x$  = kecepatan rata-rata air tanah pada arah  $x$  ( $\text{cm}/\text{hari}$ )

$t$  = waktu yang dihitung mulai masuknya zat terlarut ( $\text{hari}$ )

### 2.3.6. Transport zat terlarut non reaktif melalui medium berpori yang heterogen

Transport zat terlarut non reaktif dalam medium heterogen berbeda dengan transport di dalam medium homogen. Perbedaan ini disebabkan oleh harga permeabilitasnya. Disamping berpengaruh terhadap penyebaran, permeabilitas berpengaruh pula terhadap kecepatan distribusinya. Medium dengan harga permeabilitas rendah akan mengakibatkan jangkauan penyebaran yang kecil dan sebaliknya.

Sebagai ilustrasi penyebaran dalam medium yang heterogen dapat dilihat dalam gambar 2.2



Gambar 2.3. Pengaruh lapisan terhadap pola aliran zat terlarut dalam air tanah, (a) kondisi batas; (b) akuifer homogen; (c) lapisan dengan permeabilitas tinggi; (d) dua lapisan dengan permeabilitas rendah; (e) dua lapisan dengan permeabilitas tinggi. Sumber : Freeze, 1979.

### 2.3.7. Transport Zat Terlarut Reaktif Melalui Medium Berpori.

Untuk mencari konsentrasi zat terlarut reaktif melalui medium berpori, maka persamaan (2.17) dapat digunakan dengan memasukkan suatu variabel  $R$  (faktor retardasi) dalam persamaan tersebut, sehingga didapat (Kinzelbach, 1986) :

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - Vx \frac{\partial C}{\partial x} \dots \dots \dots (2.18)$$

Faktor retardasi  $R$  diikutsertakan untuk adsorpsi setimbang reversibel atau linier.

Dari persamaan (2.18) muncul beberapa formula yang dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi zat terlarut berdimensi tunggal (one- dimensional solute transport) melalui kolom tanah laboratoris yang relatif pendek, baik terhadap sistem tentu maupun sistem semi tentu, diantaranya adalah (Genuchten, and Parker, 1984)

Adapun perubahan konsentrasi yang disebabkan oleh adanya proses konveksi, dispersi dan sorpsi dinyatakan dengan (Genuchten, and Parker, 1984):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\beta}{\phi} \frac{\partial S}{\partial t} \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan penjelasan :

- $\beta$  = Bulk density (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $\emptyset$  = kadar air volume (%)  
 $S$  = konsentrasi zat terlarut yang disorpsi tanah (mg/kg)  
 $D$  = koefisien dispersi (cm<sup>2</sup>/hari)  
 $V_x$  = kecepatan rata-rata (cm/hari)  
 $C$  = konsentrasi (mg/l)  
 $X$  = jarak (cm)  
 $t$  = waktu (hari)

Persamaan tersebut diselesaikan secara analitik untuk semi tak tentu sebagai berikut (Genuchten, and Parker1984) :

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{2} \left[ \exp\left(\frac{(V_x - \mu)x}{2D}\right) \operatorname{erfc} \left[ \frac{K.X - \mu m}{2(D.K.n)^{1/2}} \right] + \exp\left(\frac{(V_x + \mu)x}{2D}\right) \exp\left(\frac{(K.X - \mu m)}{2(D.K.n)^{1/2}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana  $\mu = V_x \left[ 1 + \frac{4KD}{V_x^2} \right]^{1/2}$

$$n = \ln(1 + Kt)$$

$$k = \frac{\beta}{\phi} k$$

syarat batas untuk semi tak tertentu :

$$\emptyset = 0 \text{ pada } \eta = 0 ; \emptyset = C_o \text{ pada } x = 0$$

$$\frac{d\phi}{dx} \rightarrow 0 ; x \rightarrow \infty$$

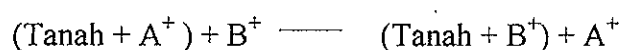


### 2.3.8. Sorpsi-desorpsi

#### 2.3.8.1. Prinsip dasar

**Sorpsi** adalah proses penyerapan ion oleh partikel tanah. Selama proses sorpsi terjadi reaksi fisis dan kimia. Salah satu fenomena yang cukup penting dari reaksi sorpsi adalah kapasitas tukar ion. Nilai kapasitas tukar ion tidak hanya tergantung pada kapasitas tukar total, tetapi juga pada kemampuan ion untuk diserap pada permukaan mineral liat dari tanah yang belum tercemar untuk ditukar dengan ion dari larutan. Sedangkan **desorpsi** adalah kebalikannya, yaitu proses pelepasan ion oleh partikel tanah.

Secara skematis proses pertukaran kation dapat digambarkan sebagai berikut :



Ikatan yang bersifat elektrostatis tersebut terbentuk dengan cepat. Reaksi pertukaran berlangsung secara ekivalen dan bersifat reversibel, yang menunjukkan kesetimbangan antara kation dalam fase padat dan fase terlarut.

#### 2.3.8.2. Sorpsi desorpsi besi dalam tanah

Bila suatu ion dalam larutan mengadakan kontak dengan suatu medium penyerap, maka timbul reaksi sorpsi- desorpsi antara fase larutan dengan fase padat. Pada umumnya reaksi ini dapat berlangsung sesaat (*instantaneous*) dimana konsentrasi kesetimbangan segera tercapai dan sesudah itu terjadi reaksi konstan atau reaksi kinetik yang tergantung waktu dimana konsentrasi dalam tanah dan larutan akan berubah hingga mendekati keadaan setimbang.

Jika ion tersebut hanya di permukaan tanah, proses ini dinamakan **adsorpsi**, sedangkan jika proses pengikatan itu berlangsung sampai di dalam partikel tanah, maka reaksi tersebut dinamakan **absorpsi**. Karena adanya kesulitan untuk membedakan kedua reaksi tersebut, maka Glasstone (1960) dan Barrow (1983) menyarankan penggunaan istilah yang dapat mencakup keseluruhan reaksi atau reaksi total, yang disebut **sorpsi**. Reaksi kebalikannya adalah **desorpsi**, yang menerangkan pelepasan ion oleh partikel tanah ke dalam larutan. Sorpsi-desorpsi besi dalam

tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor. Selain temperatur dan pH yang diasumsikan sebagai parameter yang secara langsung mempengaruhi sorpsi dalam model sorpsi kinetik, juga faktor-faktor lain dapat dikelompokkan sebagai berikut (Notodarmojo S, 1991) :

- a. karakteristik komponen tanah
- b. pH dan ion yang ada
- c. perbandingan tanah dan larutan
- d. kondisi reduksi-oksidasi

**a. Pengaruh karakteristik komponen tanah**

Sorpsi besi ke dalam partikel tanah dapat diakibatkan oleh reaksi besi dengan oksida logam atau mineral liat dan karbonat padat seperti yang disimpulkan oleh Beek dan van Riemsdijk (1979). Kelompok ikatan Al-OH dan Fe-OH yang terdapat di permukaan partikel tanah merupakan unsur yang reaktif untuk sorpsi anion (Deshpande et al., 1968, Parfitt, 1978). Khalid et al. menyatakan bahwa ikatan dari  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  mempunyai kemampuan sorpsi yang lebih besar dari pada  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

**b. Pengaruh pH dan ion yang ada**

Dari pengaruh berbagai penelitian ditemukan bahwa kenaikan pH akan menurunkan sorpsi besi oleh tanah (Hingston et al., 1972; Ryden et al., 1977).

Menurut Barrow (1989) jika efek pH terhadap sorpsi besi diukur dengan kehadiran garam natrium terlarut, sorpsi akan menurun jika pH naik.

**c. Pengaruh perbandingan tanah dan larutan**

Hope dan Syers (1976) meneliti bahwa adsorpsi besi yang berlangsung pada nilai perbandingan tanah dan larutan yang lebih kecil, akan mengakibatkan semakin banyak besi yang diserap oleh tanah. Barrow dan Shaw (1979) juga memperoleh hasil yang sama.

Mereka menyatakan bahwa pengaruh perbandingan tanah dan larutan dapat berubah akibat kecepatan pengadukan, yang dapat menyebabkan pecahnya partikel tanah saat pengadukan berlangsung.

#### d. Pengaruh kondisi reduksi-oksidasi

Khalid et al. (1977), Willet & Higgins (1978), Bradley et al. (1984) meneliti bahwa kondisi reduksi untuk beberapa jenis tanah akan meningkatkan kapasitas sorpsi tanah terhadap besi dari larutan dengan konsentrasi besi terlarut rendah, tanah akan melepaskan besi.

### 2.3.9. Model Sorpsi

Model reaksi tunggal merupakan model matematis paling sederhana yang menjelaskan reaksi penahanan atau pelepasan zat terlarut dalam tanah. Model ini dapat diklasifikasikan secara luas ke dalam dua kelompok yaitu kelompok kinetik dan kelompok kesetimbangan.

Untuk menyatakan hubungan antara konsentrasi zat terlarut dalam tanah dan konsentrasi zat terlarut dalam keadaan setimbang pada suhu tertentu, lazim digunakan isoterm kesetimbangan sorpsi. Berbagai bentuk isoterm telah dikembangkan untuk menyatakan hubungan ini, antara lain

#### 2.3.9.1. Isoterm sorpsi linier

Isoterm sorpsi setimbang yang paling sederhana dan paling sering digunakan adalah isoterm sorpsi linier, yang dirumuskan dalam bentuk persamaan (Mathew et al., 1982) :

$$S = KC + a \dots \dots \dots (2.21)$$

Dengan penjelasan :

S = konsentrasi zat yang tersorpsi dalam tanah (mg/kg)

C = konsentrasi zat dalam larutan (mg/l)

K = koefisien distribusi sorpsi setimbang

a = y – intercept (titik potong dengan sumbu y)

#### 2.3.9.2. Isoterm sorpsi non linier

Ada tiga tipe persamaan utama yang dapat digunakan untuk menguraikan isoterm sorpsi non-linier yaitu :

##### a. Persamaan Freundlich

- b. Persamaan Langmuir
- c. Persamaan BET (Branamuir, Emmet, Teller)

Isoterm sorpsi non-linier yang paling sering digunakan adalah isoterm Freundlich dan isoterm Langmuir (Mathew et al., 1982), sehingga dalam pembahasan ini akan dibatasi pada kedua isoterm tersebut.

#### a. Isoterm Freundlich

Isoterm ini dirumuskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Mathew et al., 1982) :

$$\frac{x}{m} = k.C^{1/n} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

$\frac{x}{m}$  = konsentrasi adsorbat yang dijerap per satuan adsorben

$k, n$  = konstanta

$C$  = konsentrasi zat terlarut dalam larutannya pada saat setimbang ( mg/l )

Persamaan ini berbentuk parabolik. Untuk membuatnya linier, maka persamaan ini diubah dalam bentuk logaritmik, sehingga persamaan tersebut menjadi :

$$\text{Log } \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots (2.23)$$

Persamaan dalam bentuk logaritmik tersebut memberikan kurva garis lurus. Pada waktu menggunakan isoterm Freundlich, fleksibilitas  $k$  dan  $n$  memungkinkan pencocokan dengan kurva.

Seperti dalam kasus isoterm linier, isoterm Freundlich tidak mengandung suku (term) yang mewakili sorpsi maksimum, dan karena itu aplikabilitasnya hanya dalam batas-batas eksperimental.

### b. Isoterm Langmuir

Persamaan sorpsi Langmuir pada awalnya diturunkan untuk menerangkan sorpsi gas pada permukaan bidang, namun juga digunakan secara luas untuk menerangkan sorpsi ion-ion pada permukaan tanah.

Persamaan Langmuir didasarkan kepada asumsi bahwa hanya satu lapisan monomolekuler yang terbentuk pada permukaan zat padat.

Persamaan Langmuir dapat ditulis dalam bentuk (Mathew et al., 1982)

$$\frac{x}{m} = \frac{a \cdot bC}{1 + bC} \quad (2.24)$$

dimana :

$\frac{x}{m}$  = konsentrasi adsorbat zat yang terserap dalam adsorben

a,b = konstanta kesetimbangan Langmuir

C = konsentrasi zat terlarut dalam larutannya pada saat setimbang ( mg/l )

Perbedaan persamaan Langmuir dengan persamaan Freundlich yaitu pada konsentrasi yang sangat tinggi  $bC$  dalam persamaan mencapai suatu nilai yang mengakibatkan faktor satu dapat diabaikan, sehingga persamaan tersebut berubah menjadi  $\frac{x}{m} = a$ . Dengan kata lain nilai C yang tinggi akan mengakibatkan permukaan media penyerap menjadi jenuh dan sorpsi mencapai tingkat maksimum.

Model yang umum dikembangkan oleh Enfield (1974) serta Barrow & Shaw (1979) untuk menerangkan reaksi sorpsi kinetik oleh tanah adalah :

$$\frac{x}{m} = k C^n t^m \quad (2.25)$$

Dimana k, n dan m adalah konstanta, t = waktu, C = konsentrasi.

Harga k menunjukkan kapasitas sorpsi, harga n menunjukkan intensitas dan m menunjukkan kecepatan sorpsi.

Bila harga  $m$  ini besar, maka penurunan konsentrasi akan lebih pelan.

### c. Persamaan BET (Branauer-Emmet-Teller)

Rumus BET adalah rumus yang umum digunakan untuk multilayer adsorpsi. Menurut Sundstorm (1979) rumusannya sebagai berikut :

$$X = \frac{X_m \cdot A \cdot C}{(C_s - C)[1 + (A - 1)(C / C_s)]} \dots\dots\dots (2.26)$$

keterangan

$X$  = kapasitas tanah yang diamati

$X_m$  = kapasitas akhir

$A$  = konstanta yang berhubungan dengan energi

$C$  = konsentrasi zat terlarut dalam larutannya

$C_s$  = konsentrasi zat terlarut pada saat setimbang

### 2.3.10 Kinetic Approach

Metode ini dikembangkan oleh Thomas (1948) dengan menggunakan persamaan kinetik yang merupakan kelanjutan atau perkembangan dari persamaan Bohart Adams (1920).

Persamaan kolom yang dinyatakan oleh Thomas adalah :

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{k_1}{Q}(q_o \cdot M - C_o \cdot V)}} \dots\dots\dots (2.27)$$

keterangan :

$C_e$  = konsentrasi effluent ( mg/l )

$C_o$  = konsentrasi influent ( mg/l )

$k_1$  = konstanta kecepatan

$q_o = \left( \frac{x}{m} \right)$  = konsentrasi maksimum adsorbat pada adsorben ( mg/l )

$M$  = massa media tanah ( mg )

UPT-PUSTAK-INDIP/

V = volume yang melalui kolom (l)

Q = flowrate (l/jam)

Persamaan (2.27) dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$\frac{C_o}{C_e} = 1 + e^{\frac{k_1}{Q}(q_o.M - C_o.V)}$$

$$\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right) = e^{\frac{k_1}{Q}(q_o.M - C_o.V)}$$

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right) = \frac{k_1}{Q}(q_o.M - C_o.V)$$

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right) = \frac{k_1.q_o.M}{Q} - \frac{k_1.C_o.V}{Q} \dots\dots\dots(2.28)$$

Apabila persamaan (2.28) di atas dinyatakan dalam bentuk garis linier yaitu bentuk  $Y = b + mX$

maka sumbu Y menyatakan nilai  $\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right)$ . Sedangkan sumbu X menyatakan nilai V

(volume). Sehingga akan dihasilkan suatu garis lurus dengan nilai slope  $m = -\frac{k_1.C_o}{Q}$  dan

$$\text{intercept } b = \frac{k_1.q_o.M}{Q}$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dibagi menjadi 2 ( dua ) yaitu :

- a. Eksperimen di lapangan
- b. Eksperimen di laboratorium.

#### **3.1. Kerangka Pemikiran**

Air tanah pada umumnya tergolong bersih secara bakteriologis. Akan tetapi kadar kimia yang terkandung dari air tanah relatif sangat tinggi yang sangat tergantung pada formasi litosfer yang dilaluinya.

Salah satu senyawa kimia terlarut yang ada disini adalah besi ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Di dalam air tanah kadar  $\text{Fe}^{2+}$  lebih tinggi daripada dalam air permukaan. Walaupun pada konsentrasi tertentu tubuh membutuhkan zat besi namun pada konsentrasi yang tinggi dapat merusak dinding usus, gangguan fungsi hati, paru dan bahkan mengakibatkan kematian. Karena itu pengontrolan  $\text{Fe}^{2+}$  dalam air tanah sangat penting dilakukan.

Dalam hal ini dilakukan percobaan pendahuluan untuk menentukan karakteristik fisik dan kimia media tanah dan dilakukan studi awal penentuan kisaran konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  pada lindi, kemudian di analisa dahulu parameteranya. Selanjutnya penelitian dilakukan secara batch dan dalam kolom adsorpsi untuk menentukan pola transport dan modelisasi yang paling cocok.

#### **3.2. Eksperimen di Lapangan**

Eksperimen di lapangan ini adalah merupakan eksperimen pendahuluan sebelum di lakukan pengujian lebih lanjut di laboratorium. Eksperimen ini meliputi pengukuran jarak dan ketinggian



dari sumber aliran lindian (lindi) terhadap sumur-sumur di sekitarnya ( pemetaan ) dan pengujian kadar  $\text{Fe}^{2+}$  dari lindi dan air sumur dengan jarak yang berbeda-beda.

### **3.2.1. Pengukuran Jarak dan Ketinggian**

Pengukuran jarak dan ketinggian ini dilakukan dengan menggunakan roll meter dan Theodolite. Hal ini diperlukan untuk membuat perhitungan antara jarak dengan penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  di lapangan.

### **3.2.2. Pengukuran Konsentrasi Fe**

Pengukuran konsentrasi Fe dilakukan dengan metode analisa spektrofotometri, dimana dalam hal ini peneliti melakukan pengujian di Balai Laboratorium Kesehatan Dinas Kesehatan Propinsi Jawa Tengah..

Sampel air yang diambil meliputi :

- a. Sampel air lindi ( lindian )
- b. Sampel sumur I ( berjarak 20,34 m dari sampel a. )
- c. Sampel sumur II ( berjarak 39,64 m dari sampel a. )
- d. Sampel sumur III ( berjarak 60,85 m dari sampel a. )
- e. Sampel sumur IV ( berjarak 80,76 m dari sampel a. )

## **3.3. Eksperimen di Laboratorium**

### **3.3.1. Media percobaan**

Tanah yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tanah yang berada di Desa Jatirejo Kecamatan Ngampel Kabupaten Kendal, dimana pada lokasi tersebut terdapat Tempat Pembuangan Akhir Sampah.

#### **a. Persiapan tanah untuk eksperimen kolom**

Media tanah yang akan digunakan untuk eksperimen dalam kolom diambil dengan hati-hati dan tidak terganggu, sehingga tanah masih dalam keadaan alami. Pengambilan tanah diawali dengan membuang lapisan tanah terluar setebal  $\pm 60$  cm, kemudian pipa yang akan digunakan untuk benda uji dimasukkan ke dalam tanah hingga mencapai ketebalan tertentu. Tanah yang berada di luar kolom digunakan untuk percobaan secara batch. Setelah dilakukan pengukuran tinggi lapisan tanah dalam kolom sesuai dengan yang diinginkan, pipa tersebut ditutup dengan saringan kasa yang berlapis, diberi pasir silika diusahakan agar dalam pengangkutan dan penyimpanan tidak terganggu. Pada saat itu juga diambil sampel tanah yang akan digunakan untuk eksperimen batch dan sifat fisika dan kimia tanah.

#### **b. Persiapan tanah untuk eksperimen batch**

Untuk keperluan eksperimen ini tanah dikeringkan terlebih dahulu pada suhu kamar dengan cara diangin-anginkan. Setelah dirasa cukup kering tanah diayak dengan menggunakan ayakan 2 mm dan kemudian dioven sampai mencapai berat yang konstan, lalu dimasukkan dalam desikator dan disimpan dalam kaleng yang tertutup rapat.

#### **3.3.2. Bahan kontaminan.**

Sebagai bahan kontaminan pada percobaan ini digunakan Ferro Chlorida. Sampel kontaminan dibuat dengan memanaskan fero chlorida pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam untuk menguapkan airnya, kemudian ditimbang dengan berat tertentu untuk membuat larutan induk standart 1000 ppm. Dalam hal ini untuk membuat 1 liter larutan standar  $\text{Fe}^{2+}$  1000 ppm diperlukan ferro chlorida kering sebanyak :

$127/(18) \times 1000 \text{ mg} = 7055,55 \text{ mg}$  atau 7,055 gram untuk dilarutkan dalam aquadest hingga volumenya 1 liter.

Sebagai tracer dengan menggunakan KCl yang dibuat dalam larutan induk standar 1,0 N. Untuk membuat 1 liter larutan tersebut diperlukan KCl sebanyak 74,50 gram yang dilarutkan dalam aquadest hingga volume 1 liter.

Kemudian untuk membuat berbagai konsentrasi larutan yang diperlukan dalam penelitian, dilakukan dengan cara pengenceran larutan induk standar tersebut.

### **3.3.3. Metode Percobaan.**

Penelitian ini merupakan penelitian artifisial aliran tanah dalam skala laboratorium yang terdiri dari :

- Penelitian pendahuluan
- Eksperimen Batch
- Eksperimen kolom

#### **3.3.3.1 Penelitian Pendahuluan**

Penelitian pendahuluan meliputi pemeriksaan terhadap karakteristik fisis dan kimiawi tanah yang akan digunakan sebagai media.

##### **a. Pemeriksaan fisis tanah**

Pemeriksaan fisis tanah meliputi :

- Analisis saringan dan hidrometer untuk mengetahui gradasi dan komposisi dari fraksi tanah serta penafsiran luas spesifik permukaan tanah.
- Partikel density
- Bulk density
- Porositas dan permeabilitas tanah

Pemeriksaan karakteristik fisis tanah dilakukan di Laboratorium Pengujian Limbah dan Lingkungan dan Aneka Komodite Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Semarang.

#### **b. Pemeriksaan karakteristik kimia tanah**

Pemeriksaan karakteristik kimia tanah meliputi :

- pH tanah
- Kandungan bahan organik
- Kandungan besi, yang ada dalam tanah

Dari penelitian karakteristik fisika dan kimia tanah, maka sifat-sifat tanah akan dapat diketahui, sedangkan besaran-besaran yang diperoleh dapat digunakan untuk melakukan perhitungan lebih lanjut dengan rumus-rumus yang ada.

#### **3.3.3.2 Eksperimen batch**

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan pola atau tingkat adsorpsi tanah terhadap kontaminan yang ditinjau.

Percobaan ini dilakukan dengan menganggap bahwa sorpsi tergantung pada waktu, yang dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Timbang tanah yang sudah kering masing-masing sebanyak 20 gram dan letakkan dalam erlenmeyer 500 ml.
- Buat larutan fero chlorida (  $\text{Fe Cl}_2$  ) sebagai kontaminan masing-masing sebanyak 200 ml dengan konsentrasi Fe yang bervariasi, yaitu sekitar :
  - 10 mg/l
  - 20 mg/l
  - 30 mg/l
  - 50 mg/l
  - 70 mg/l
  - 100 mg/l

Untuk masing-masing konsentrasi dibuat tiga larutan,

- Tambahkan sedikit HCl agar larutan mempunyai pH antara 6 – 6,5.
- Masukkan larutan tersebut ke dalam erlenmayer yang berisi tanah, kemudian disimpan di dalam almari es.
- Pada interval waktu tertentu, cairan yang jernih diambil untuk dianalisis kadar Fe nya.
- Dalam hal ini interval waktu pengambilan sampel dan analisis adalah : 1 jam, 3 jam, 6 jam, 10 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam dan 120 jam.
- Sebelum dilakukan analisis, maka larutan disimpan dalam pendingin sampai waktunya dianalisis.

Perbedaan konsentrasi larutan mula-mula dengan konsentrasi pada waktu t jam dikarenakan terjadinya sorpsi oleh tanah.

Konsentrasi kesetimbangan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Seq = \frac{(Ci - Cf) \times Volume\ cairan\ (l)}{Berat\ tanah\ (kg)} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :  $C_i$  = konsentrasi larutan mula-mula

$C_f$  = konsentrasi larutan akhir

$Seq$  = konsentrasi kesetimbangan larutan.

Percobaan di atas dilakukan dengan tiga kali ulangan untuk setiap konsentrasi. Konsentrasi larutan ditentukan dengan menggunakan metode Spectrofotometri.

### 3.3.3.3. Eksperimen kolom

Eksperimen ini dibagi menjadi dua yaitu :

- Eksperimen kolom dispersi
- Eksperimen kolom sorpsi

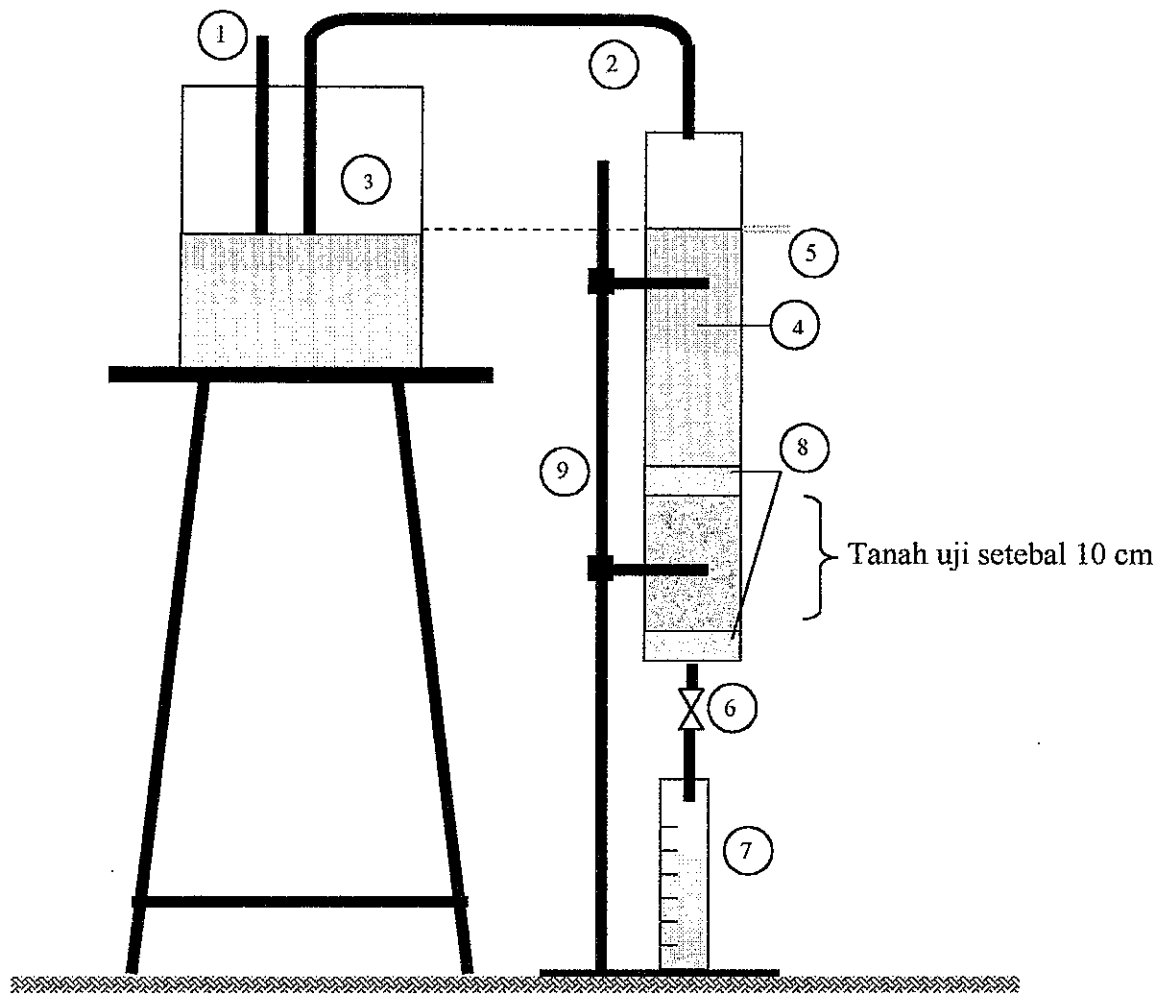
**Konstruksi kolom percobaan :**

Kolom percobaan terdiri dari tabung atau kolom dengan diameter 2,5 inci ( 6,7 cm ) dan tingginya 30 cm. Pada bagian bawah dari kolom ditutup dan diberi lobang untuk pengeluaran effluen yang dihubungkan dengan kran pengatur stabilitas aliran.

Pada bagian atas diberi lubang pemasukan influen yang dihubungkan dengan botol Mariotte, dan juga lobang pembuang untuk menstabilkan tinggi permukaan larutan serta lobang penyeimbang tekanan dalam kolom.

Pada bagian atas dan bawah kolom tanah diberi saringan kasa dan juga dilengkapi dengan lapisan pasir kuarsa yang berfungsi untuk meratakan aliran dan menahan agar tanah tidak terganggu oleh adanya aliran.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Keterangan gambar :

1. Pipa pemasukan umpan ke dalam bak umpan
2. Pipa pemasukan umpan ke dalam kolom adsorpsi
3. Bak umpan
4. Kolom adsorpsi / dispersi
5. Pipa peluap
6. Valve pengatur debit
7. Gelas ukur
8. Pasir kuarsa
9. Statif

**Gambar 3.1. Skema Konstruksi Kolom Eksperimen.**

Adapun prosedur percobaannya adalah sebagai berikut :

- Persiapkan kolom percobaan yang berisi media tanah setebal 10 cm yang dilengkapi dengan lapisan pasir kuarsa pada bagian atas dan bawahnya.
- Jenuhkan dengan mengalirkan air untuk menghilangkan udara yang berada dalam rongga tanahnya yaitu selama 2 – 3 hari.
- Setelah benar-benar jenuh, alirkan larutan umpan dari botol Mariotte ke bagian atas kolom. Dalam hal ini larutan umpan yang digunakan ialah KCl 0,01 N.
- Laju aliran dibuat konstan dengan mengatur kran / katup pengeluaran. Pada percobaan ini laju aliran ditentukan berdasarkan pertimbangan konduktivitas hidrolis (permeabilitas).
- Pengambilan dan analisis sampel dilakukan secara periodik dengan selang waktu tertentu, sampai diperoleh konsentrasi effluent yang hampir sama dengan konsentrasi mula-mula, yang berarti tanah sudah jenuh.

#### **b. Percobaan kolom sorpsi**

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pola sorpsi, dispersi dan transport kontaminan yang dilewatkan dalam satu kolom pendek yang berisi media tanah. Percobaan dilakukan untuk menentukan besarnya pengurangan konsentrasi kontaminan dalam aliran air tanah yang melewati media tanah.

Adapun prosedur percobaannya adalah sebagai berikut :

- Persiapkan kolom percobaan dari percobaan dispersi yang telah jenuh dengan larutan KCl.
- Alirkan larutan umpan yang berupa larutan  $\text{Fe}^{2+}$  5 mg/l dan 10 mg/l dari botol Mariotte pada bagian atas kolom
- Pengambilan dan analisis sampel dilakukan secara periodik sampai diperoleh konsentrasi effluent yang hampir sama dengan konsentrasi mula-mula.



### 3.4. Metode Analisis.

Analisis penentuan konsentrasi besi, chlorida dilakukan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia ( SNI ). Untuk analisa besi (Fe), digunakan spektrofotometer model 390 dengan ketelitian 0,001 mg/l, dengan kisaran panjang gelombang antara 420-780 nm..Untuk chlorida dilaksanakan dengan metode tertrasi.

### 3.5. Metode Perhitungan.

Untuk data yang didapatkan di lapangan digunakan perhitungan berdasarkan pendekatan secara eksponensial, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$y = k + a b^x \dots\dots\dots (3.2)$$

keterangan : X = jarak (m)

Y = konsentrasi  $\text{Fe}^{++}$  ( mg/l )

Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara konsentrasi besi (II) yang didapat dari data lapangan dan dari model yang didapat.

Untuk data pada percobaan batch dihitung dengan menggunakan formula non-linier dari Freundlich yaitu :

$$\frac{x}{m} = k C^{1/n} \dots\dots\dots (3.3)$$

keterangan :

x = jumlah  $\text{Fe}^{2+}$  terserap (mg/l)

m = jumlah adsorben tanah (mg/l)

$k, n$  = kontanta

C = konsentrasi ( mg/l )

dan model kinetik (laju reduksi kontaminan  $\text{Fe}^{2+}$ ) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\frac{x}{m} = k C^n t^m \dots\dots\dots$$

Untuk eksperimen kolom dispersi digunakan rumus :

$$R = \left[ 1 + \frac{\rho_o K_d}{n} \right] \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana :

$n$  = porositas ( prosen )

$R$  = faktor retardasi

$K_d$  = koefisien adsorpsi ( cm / hari )

$\rho_o$  = bulk density tanah ( gr/cm<sup>3</sup> )

Dalam eksperimen kolom dispersi dengan menggunakan tracer KCl, konsentrasi chlorida ditentukan dengan metode titrasi iodometri.

Besarnya konsentrasi chlorida dihitung dengan rumus :

$$mg/l \text{ Cl} = \frac{(A - B) \times N \times 35,45}{V \text{ sampel}} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana :

$A$  = ml larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (natrium tiosulfat) yang digunakan benda uji

$B$  = ml  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (natrium tiosulfat) yang digunakan blangko

$N$  = kenormalan larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (natrium tiosulfat)

Untuk eksperimen kolom sorpsi model dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

Thomas adalah :

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{k_1}{Q}(q_o M - C_o V)}} \dots\dots\dots (3.6)$$

keterangan :

Ce = konsentrasi effluent ( mg/l )

Co = konsentrasi influent ( mg/l )

k1 = konstanta kecepatan

qo =  $(\frac{x}{m})$  = konsentrasi maksimum adsorbat pada adsorben

M = massa media tanah ( gr )

V = volume yang melalui kolom ( l )

Q = flowrate (l/jam)

Kemudian dari model-model yang didapat di analisa seberapa besar penyimpangannya.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Percobaan Pendahuluan

##### 4.1.1 Pemeriksaan Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Tanah

Percobaan pendahuluan dalam penelitian ini adalah pemeriksaan terhadap karakteristik fisik dan kimiawi tanah yang digunakan sebagai media. Hasil percobaan pendahuluan sebagai berikut :

**Tabel 4.1. Karakteristik Fisika Tanah dari Desa Jatirejo**

No.	Parameter	Besarnya Pengukuran
1.	Warna	Coklat merah
2.	Kadar Air ( % )	35,41
3.	Spesifik Gravity ( Gs )	2,5308
4.	Bulk Density ( gram / cm <sup>3</sup> )	1,35
5.	Porositas ( % )	49,76
6.	Permeabelitas ( cm/dt )	1,2538 . 10 <sup>-5</sup>
7.	Void ratio ( e )	0,6207
8.	Komposisi tanah ( % )	
	Gravel	3,49
	Sand	30,07
	Silt	40,23
	Clay	26,21

**Tabel 4.2. Karakteristik Kimia Tanah dari Desa Jatirejo**

No.	Parameter	Besarnya Pengukuran
1.	pH H <sub>2</sub> O	6,2
2.	Kandungan Bahan Organik ( % )	7,44
3.	Fe <sup>3+</sup> ( mg/kg )	16,23

#### 4.1.1.1 Karakteristik Fisika Tanah

Dari hasil pemeriksaan fisika tanah maka dapat dijelaskan beberapa hal sebagai berikut :

- Warna tanah coklat kemerahan menunjukkan kandungan besi pada tanah tersebut cukup tinggi, dan memiliki produktivitas sedang sampai tinggi ( Tan, 1992 ).
- Kadar air pada tanah di dekat TPA Jatirejo sebesar 35,41 %, hal ini berarti kandungan airnya cukup tinggi, hal ini menunjukkan bahwa tanah di bagian atas gembur dan bagian bawah teguh atau kuat (Sarief, 1986).
- Porositas tanah yaitu 49,76 %, hal ini menunjukkan kecepatan aliran air tanah tersebut cukup tinggi, sebaliknya bila porositas tanah rendah, maka kecepatan aliran air dalam tanah juga rendah ( Wesly, 1964.)
- Permeabilitas tanah cukup tinggi yaitu  $1,2438 \cdot 10^{-5}$  cm/dt ( SNI untuk TPA maksimum  $1 \cdot 10^{-7}$  cm/dt ), hal ini menunjukkan tanah tidak mampu menahan larutan yang lebih lama, sehingga kemampuan sorpsi tanah terhadap suatu kontaminan tidak dapat berlangsung sempurna. Sedangkan permeabilitas tanah yang rendah mampu menahan larutan yang lebih lama, sehingga kemampuan sorpsi tanah terhadap suatu kontaminan berlangsung sempurna.
- Dari analisa saringan tanah, maka komposisi tanah yang terbanyak adalah silt yaitu sebesar 40,23 %, hal ini menunjukkan tanah termasuk jenis lanau ( silt ) dengan gradasi yang halus dengan jumlah yang lebih besar dibanding dengan kandungan pasirnya. Gradasi yang kecil-kecil mempunyai permukaan yang luas sehingga kemampuan sorpsi tanah cukup besar, karena terjadinya kontak antara tanah dengan larutan juga lebih besar.

#### 4.1.1.2 Karakteristik Kimia Tanah

Dari hasil pemeriksaan kimia tanah , maka didapat hasil dan analisa sebagai berikut :

- pH tanah sebesar 6,2 hal ini menunjukkan tanah bersifat keasamaan dan ini berarti didominasi oleh muatan negatif, sehingga mempunyai daya serap terhadap kation.. Tanah

yang mempunyai kisaran pH 5 – 7, adalah termasuk tanah yang bersifat umum jenis mineral yang ada di daerah basah ( Tan 1992 ).

- Kandungan bahan organik yaitu 7,44 % hal ini menunjukkan tanah tersebut mempunyai kandungan bahan organik yang sedang dan berarti pula tanah kurang reaktif dalam penyerapan. Kandungan hara seperti N, P , K dan Ca pada umumnya cukup.
- Kadar Fe dalam tanah Jatirejo mencapai 16,23 mg/kg, hal ini disebabkan senyawa Fe biasanya tidak dapat larut pada kisaran pH antara 6-7, sehingga Fe banyak yang mengendap di tanah berupa  $\text{Fe}^{3+}$  ( Tan, 1992 )

#### 4.1.2 Penurun Konsentrasi $\text{Fe}^{2+}$ Terhadap Jarak

Disamping itu juga dilakukan penelitian lapangan yaitu pengukuran jarak sumur terhadap sumber kontaminan terdekat (saluran air lindi), pengukuran kadar  $\text{Fe}^{2+}$  dari sumur I, II, III dan IV, didapat hasil pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3. Penurunan konsentrasi besi terhadap jarak**

No	OBYEK YANG DI TELITI	JARAK (m)	KONSENTRASI $\text{Fe}^{2+}$ ( mg/l )
1.	Saluran pembuang lindi	0	7,64
2.	Sumur I	20,34	0,66
3.	Sumur II	39,64	0,55
4.	Sumur III	60,85	0,31
5.	Sumur IV	80,76	0,00

Untuk peta lokasi pengambilan sampel di TPA Desa Jatirejo Kecamatan Ngampel, Kabupaten Kendal akan tampak seperti di bawah ini :



MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG

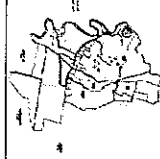
PETA DESA JATIREJO  
KECAMATAN NGAMPEL KABUPATEN KENDAL

## LEGENDA

- |  |                          |  |                          |
|--|--------------------------|--|--------------------------|
|  | Batas Kecamatan          |  | TPA                      |
|  | Batas Desa               |  | Pengambilan Sampel Lindi |
|  | Batas Dukuh              |  | Sumur I                  |
|  | Jalan                    |  | Sumur II                 |
|  | Sungai                   |  | Sumur III                |
|  | Saluran Pembuangan Lindi |  | Sumur IV                 |

INSET

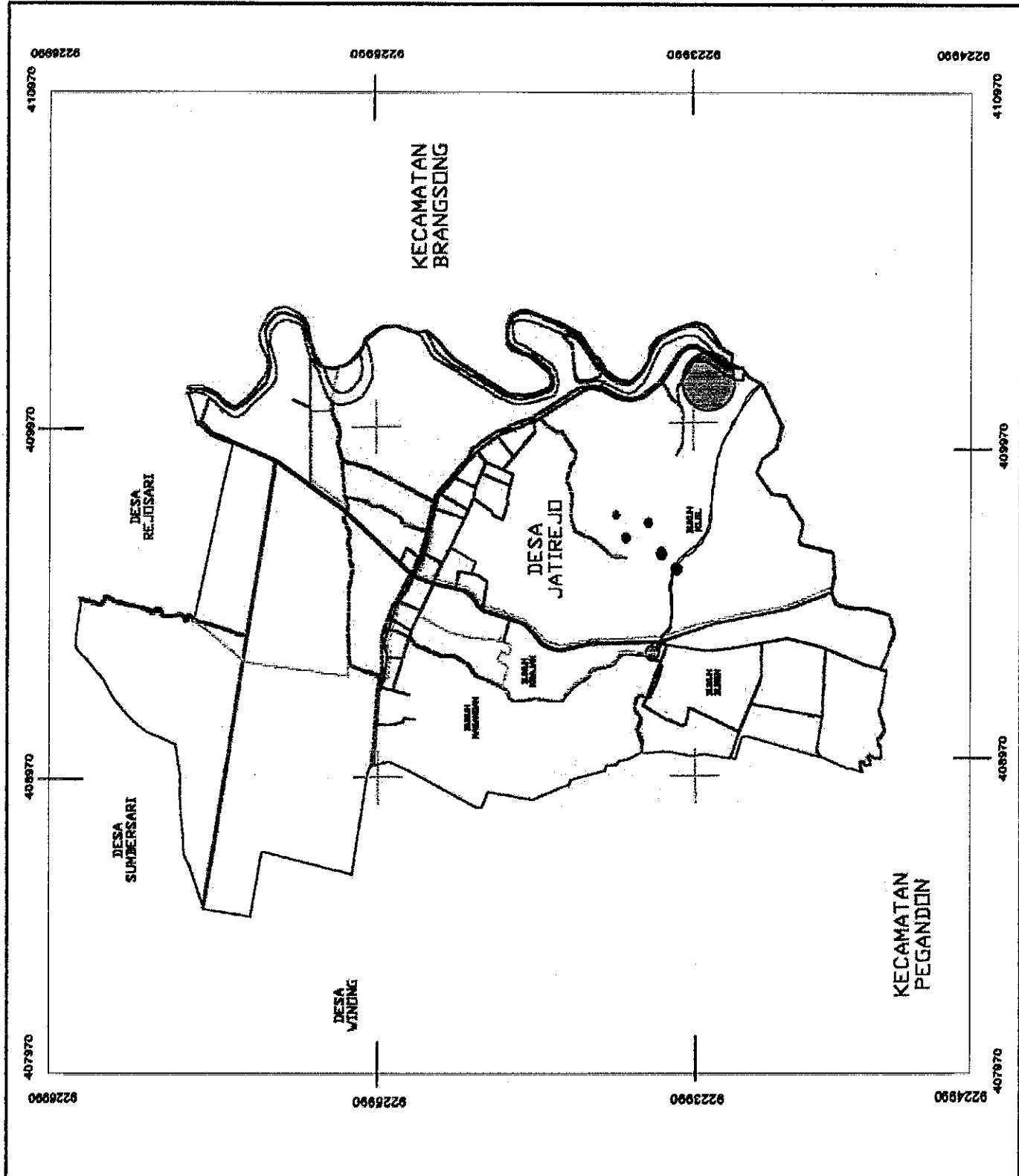
UTARA



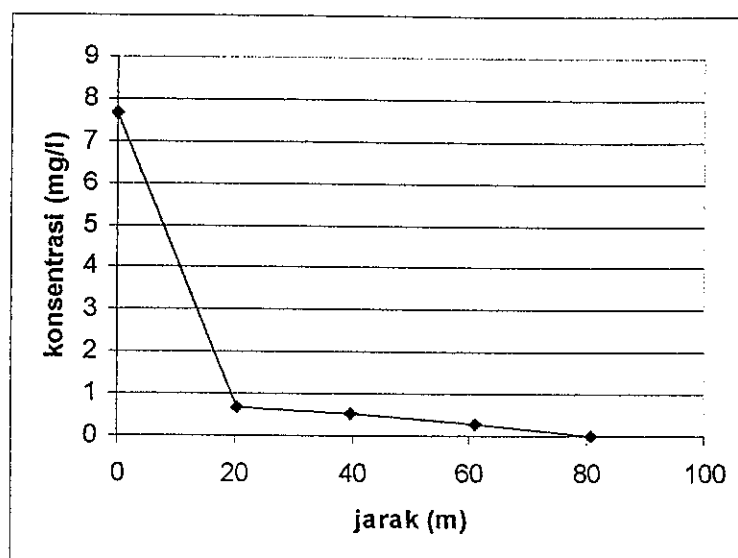
NO. PETA

SKALA

SUMBER : MONOGRAFI DESA & SURVEI GPS 2003



Dari hasil yang didapat dibuat kurva penurunan konsentrasi sebagai berikut :



Gambar 4.2. Hubungan antara konsentrasi besi dengan jarak

Dari hasil pengukuran tersebut dapat dijelaskan bahwa permukaan air tanah yang terdapat pada keempat sumur di sekitar saluran pembuang air lindi TPA Jatirejo mempunyai piel yang hampir sama yaitu rata-rata – 17,02 dari permukaan air lindi pada saluran pembuang. Konsentrasi kandungan  $\text{Fe}^{2+}$  masing-masing sumur terus menurun seiring dengan bertambahnya jarak. Pada sumur IV konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  mencapai 0,00 mg/l, hal ini berarti kontaminan  $\text{Fe}^{2+}$  dari saluran pembuang lindi sudah tidak mencemari lagi sumur tersebut.

Berdasarkan pendekatan secara eksponensial, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$y = k + a b^x \dots\dots\dots (4.1)$$

Berdasarkan perhitungan maka hubungan antara jarak dengan penurunan konsentrasi dari sumber kontaminan (kanal pembuang lindi) adalah

$$y = - 0,04625 + (7,68625) (0,27852)^x \dots\dots\dots (4.2)$$

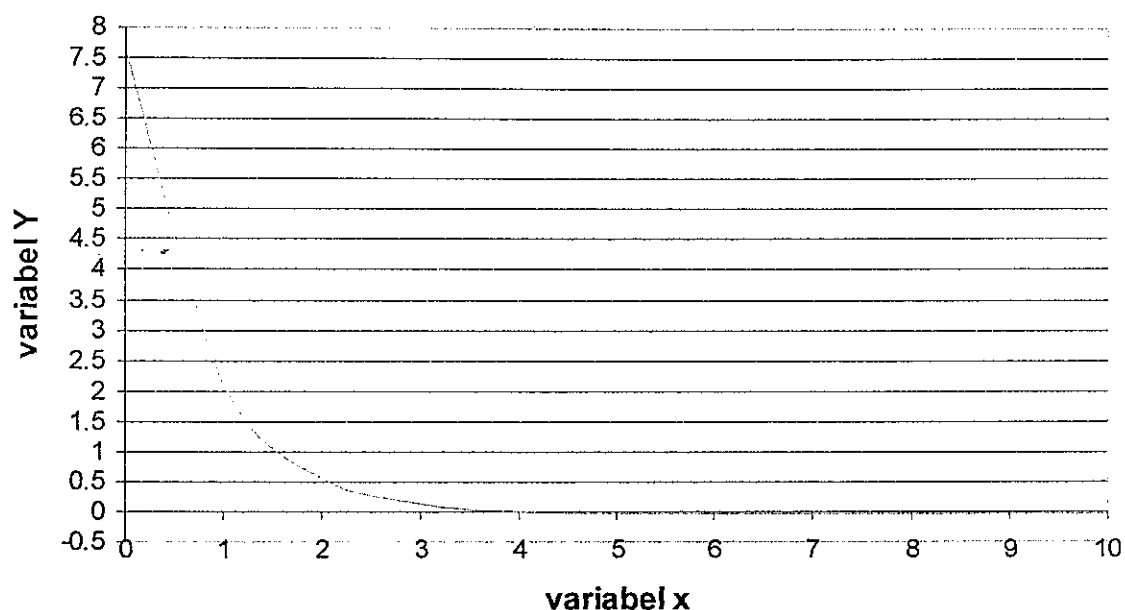
keterangan : X = jarak (m)

Y = konsentrasi  $\text{Fe}^{++}$  ( mg/l )



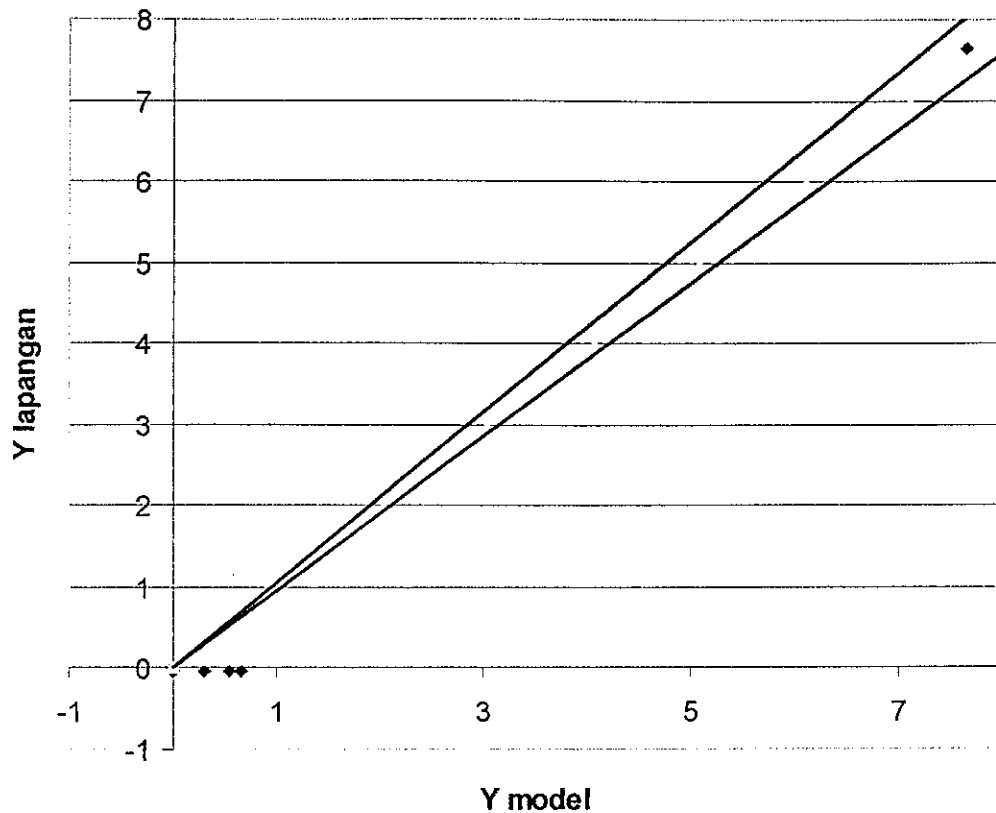
Semakin jauh jarak terhadap saluran pembuang, semakin konsentrasi  $\text{Fe}^{++}$  juga akan menurun.

Selanjutnya untuk membandingkan antara kurva penurunan konsentrasi terhadap jarak sesuai hasil eksperimen dengan kurva penurunan konsentrasi terhadap jarak dari hasil perhitungan dapat digambarkan sebagaimana pada gambar 4.3. berikut.



**Gambar 4.3. Penggambaran model yang didapat ke dalam koordinat kartesius**

Apabila hasil pengamatan di lapangan dan model yang didapat dibandingkan maka akan terlihat pada grafik perbandingan sebagai berikut :



**Gambar 4.4. Grafik hubungan antara konsentrasi besi (II) yang didapat dari data lapangan dan dari model yang didapat**

Dari gambar kurva tersebut, terlihat bahwa hubungan antara konsentrasi besi dengan jarak hasil eksperimen, dibanding dengan kurva antara konsentrasi besi dengan jarak hasil perhitungan tidak jauh berbeda, karena penyimpangan yang terjadi adalah sebesar  $-1,53\%$ . Penyimpangan ini masih di dalam batas yang diijinkan yaitu  $\pm 5\%$ .

## **4.2. Eksperimen di Laboratorium**

### **4.2.1. Eksperimen Batch**

#### **4.2.1.1. Isoterm kesetimbangan Sorpsi**

Isoterm kesetimbangan sorpsi, yaitu reaksi sorpsi yang diasumsikan telah tercapai setelah kontak 120 jam yaitu sorpsi instantaneous. Data dari hasil penelitian menunjukkan bahwa isoterm

kesetimbangan sorpsi tidak linear. Oleh karena itu isoterm kesetimbangan sorpsi dihitung dengan menggunakan formula non-linier dari Freundlich yaitu :

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n} \dots\dots\dots (4.3)$$

keterangan :

x = jumlah  $\text{Fe}^{2+}$  terserap (mg/l)

m = jumlah adsorben tanah (mg/l)

Untuk memudahkan dalam menentukan harga konstanta k dan n, maka formula tersebut diubah menjadi bentuk logaritma, sehingga diperoleh bentuk persamaan linier sebagai berikut :

$$\text{Log } \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C. \dots\dots\dots (4.4)$$

#### 4.2.1.2. Model sorpsi kinetik atau sorpsi yang tergantung pada waktu .

Model ini dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\frac{x}{m} = k C^n t^m \dots\dots\dots (4.5)$$

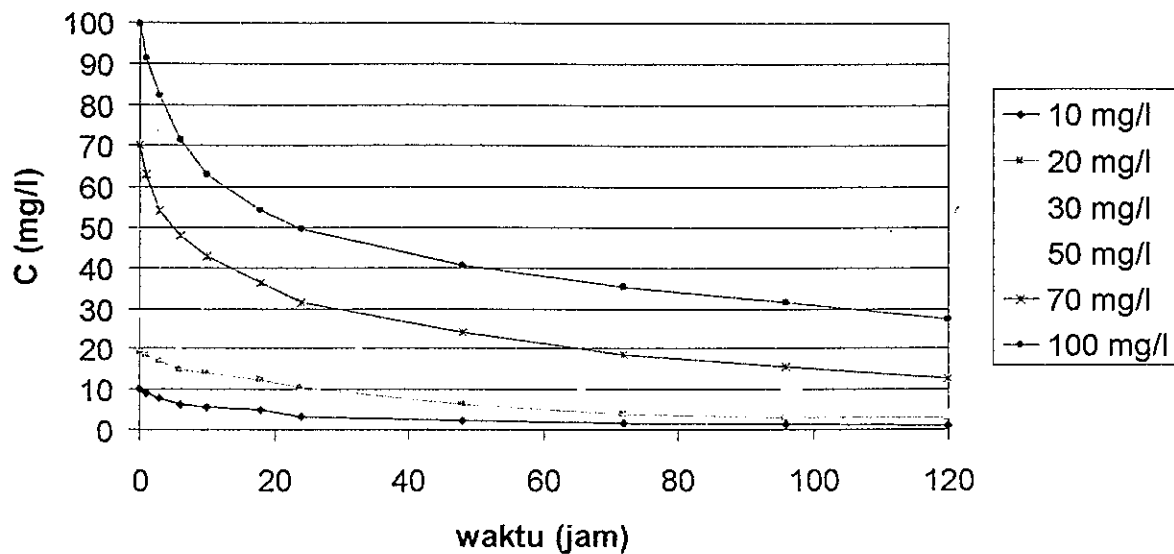
Atau

$$\text{Log } \frac{x}{m} = \log k + n \log C + m \log t. \dots\dots\dots (4.6)$$

Untuk mendapatkan konstanta n dibuat grafik  $\log \frac{x}{m}$  terhadap  $\log C$ , sedangkan konstanta m diperoleh dari grafik  $\log \frac{x}{m}$  terhadap  $\log t$ .

#### 4.2.1.3. Eksperimen sorpsi besi(II) pada tanah dari eksperimen Batch

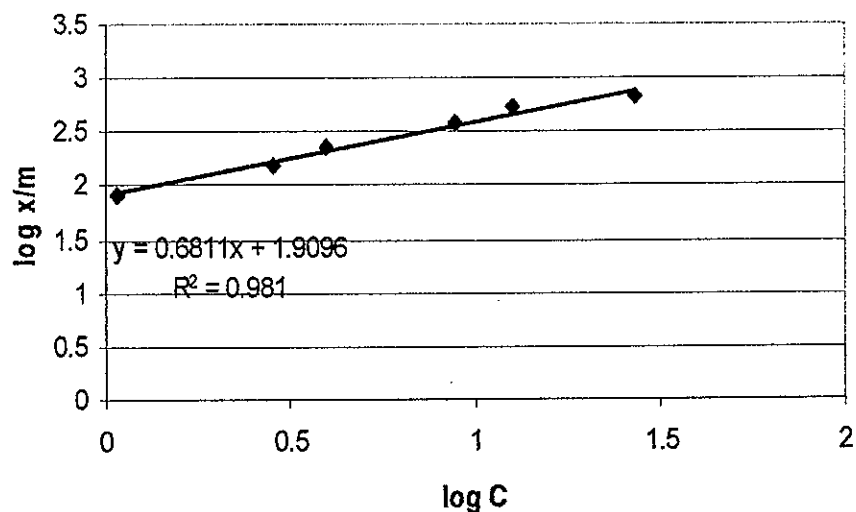
Hasil dari data eksperimen batch pada tanah digambarkan dalam bentuk gambar 4.5. Gambar tersebut diperoleh dari data lampiran 4.1.



Gambar 4.5. Kurva penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{++}$  pada tanah

Untuk mendapatkan konstanta  $k$  dan  $n$  dihitung dengan regresi linier, dengan asumsi bahwa reaksi berlangsung 120 jam sehingga isoterm kesetimbangan sorpsi terjadi pada  $t = 120$  jam.

Isoterm kesetimbangan sorpsi tanah terhadap ferro untuk tanah dapat dilihat pada gambar 4.6 diperoleh dari data lampiran 4.2.a dan 4.2.b. Untuk  $T = 120$  jam akan tampak seperti berikut :



Gambar 4.6. Isoterm kesetimbangan sorpsi Ferro pada tanah dari eksperimen batch

Untuk waktu 1, 3, 6, 10, 18, 24, 48, 72 dan 96 jam harga  $R^2$ -nya akan terlihat pada tabel berikut :

**Tabel 4.4. Harga  $R^2$  percobaan untuk tiap-tiap waktu pada grafik penentuan model Freundlich**

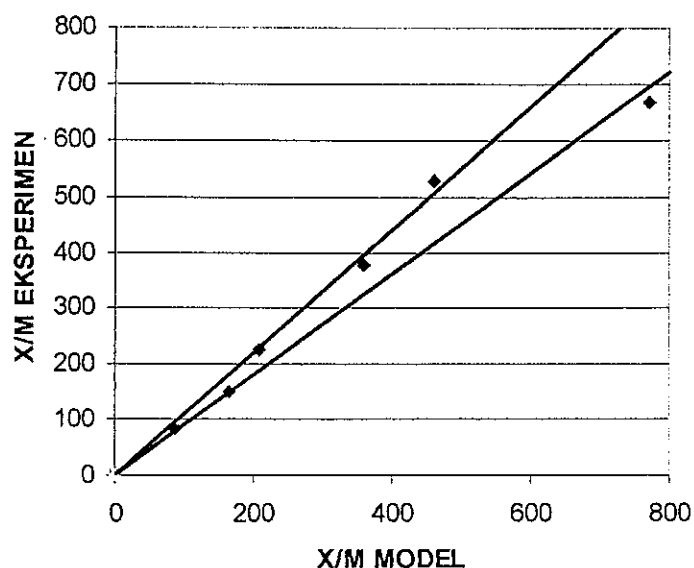
Waktu	$R^2$ ( koef. Korelasi )
1 jam	0.9511
3 jam	0.8822
6 jam	0.9163
10 jam	0.9075
18 jam	0.9251
24 jam	0.8667
48 jam	0.9259
72 jam	0.9662
96 jam	0.9866

Dari grafik-grafik di atas ternyata untuk  $t = 120$  jam yang mempunyai harga  $R^2$  terbesar yaitu  $R^2 = 0,981$  sehingga harga koefisien korelasi ( $R$ ) adalah 0,99045 maka persamaan regresi  $y = 0,6811x + 1,9096$  yang digunakan untuk memperoleh model isoterm kesetimbangan Freundlich.

Didapatkan slope terbesar 0,6811 dan intercept 1,9096. Jadi bila melihat harga  $R^2$  maka persamaan ini mempunyai korelasi yang signifikan antara  $\log (x/m)$  dan  $\log C$ .  $k$  merupakan hasil antilog dari intercept yaitu sebesar 81,208.  $n$  merupakan  $1/\text{slope}$  yaitu 1,468. Sedangkan harga  $1/n$  yaitu 0,6812. Dari perhitungan di atas didapatkan model persamaan Freundlich sebagai berikut :

$$\frac{x}{m} = 81,208 C^{0,6812} \dots\dots\dots (4.7)$$

Model yang didapat diatas bila dibandingkan dengan hasil percobaan laboratorium akan didapatkan hubungan seperti pada grafik dibawah ini :



**Gambar 4.7. Grafik hubungan antara model sorpsi yang didapat dengan percobaan batch**

Dari gambar di atas penyimpangan yang terjadi adalah sebesar -4,18 %. Hal ini menunjukkan bahwa model yang didapat masih dalam batas yang bisa diterima yaitu  $\pm 5 \%$ .

Deskripsi model menggambarkan proses transpor dasar pada media tanah. Konsentrasi kontaminan dipengaruhi oleh adveksi, dispersi, adsorpsi. Model mengasumsikan media berpori – pori sebagai sistem 2 fase, yaitu fase cair dan fase padat, dengan menganggap padatan dan cairan sebagai fase tunggal dapat menyederhanakan fenomena seperti proses adsorpsi pada interface cairan-padatan.

Selama awal operasi, kapasitas adsorptif merupakan proses dominan penghilangan kontaminan  $\text{Fe}^{2+}$ . Setelah material tanah jenuh dengan kontaminan proses dominan penghilangan kontaminan tidak berlangsung.

#### **4.2.1.4. Laju reduksi kontaminan $\text{Fe}^{2+}$**

Asumsi penyederhanaan dibuat untuk mengembangkan model teori karena tidak mungkin meninjau seluruh fenomena yang terjadi pada tanah. Persamaan pokok yang mengatur transpor kontaminan  $\text{Fe}^{2+}$  adalah dispersi, adveksi dan perpindahan fase cairan atau padatan. Di dalam

fase cair kontaminan akan terakumulasi dan tereduksi. Laju terjadinya proses sebanding dengan konsentrasi kontaminan pada fase padat, sebagai kinetika orde satu :

$$-\frac{dC}{dt} = kC^n, n = 1 \dots \dots \dots (4.8)$$

Laju reduksi disederhanakan pada orde satu

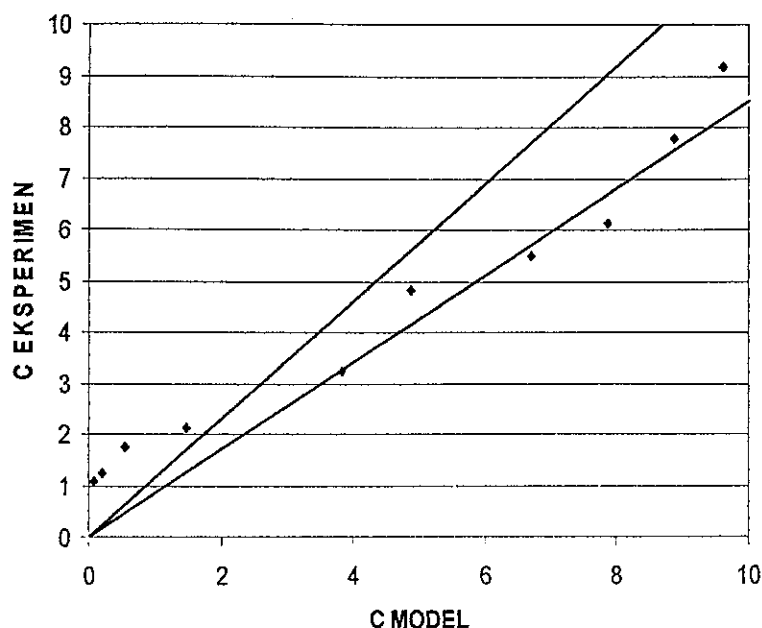
$$\begin{aligned} \frac{dC}{C} &= -k dt \\ \int \frac{dC}{C} &= -k \int dt \end{aligned} \dots \dots \dots (4.9)$$

$$\begin{aligned} \ln C &= -kt + C \quad \text{jika } C = \ln Co \\ \ln C &= -kt + \ln Co \\ \ln C - \ln Co &= -kt \\ \ln \frac{C}{Co} &= -kt \\ -k &= \frac{\ln \frac{C}{Co}}{t} \\ k &= \frac{\ln Co - \ln C}{t} \end{aligned} \dots \dots \dots (4.10)$$

keterangan : C = konsentrasi  $Fe^{++}$  akhir (mg/l)  
 Co = konsentrasi  $Fe^{++}$  awal (mg/l)  
 k = konstanta kinetik  
 t = waktu

Berdasarkan formula tersebut diperoleh konstanta laju kinetik  $Fe^{++}$  pada media tanah merah coklat seperti pada tabel lampiran 4.3. Selanjutnya dari data tersebut akan didapatkan model sorpsi kinetik seperti berikut :  $C = Co e^{-0,04t} \dots \dots \dots (4.11)$

Model tersebut bila dibandingkan dengan hasil percobaan akan didapatkan hasil seperti gambar berikut :



**Gambar 4.8. Grafik hubungan antara C model sorpsi kinetik dengan C hasil percobaan**

Dari gambar di atas penyimpangan yang terjadi adalah sebesar -4,93 %. Hal ini menunjukkan bahwa model yang didapat telah memenuhi batas yang diijinkan yaitu sebesar  $\pm 5 \%$ , sehingga model tersebut dapat digunakan.

Pada eksperimen batch terlihat bahwa pada eksperimen ada hubungan antara konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  dalam larutan (mg/l) dengan konsentrasi Fe pada tanah. Pola sorpsi Fe dalam tanah tidak linier dan berjalan sebagai fungsi waktu. Pola sorpsi untuk selang waktu 1 jam sampai dengan 120 jam

mempunyai pola yang sama mengikuti model isoterm  $\frac{x}{m} = 81,208 C^{0,6812}$ . Hanya

koefisien korelasi untuk  $T = 1$  jam sampai dengan 120 jam berkisar antara  $R = 0,9309$  sampai dengan  $R = 0,9933$ . Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat erat antara kedua variabel tersebut.

#### 4.2.1.5. Waktu Detensi

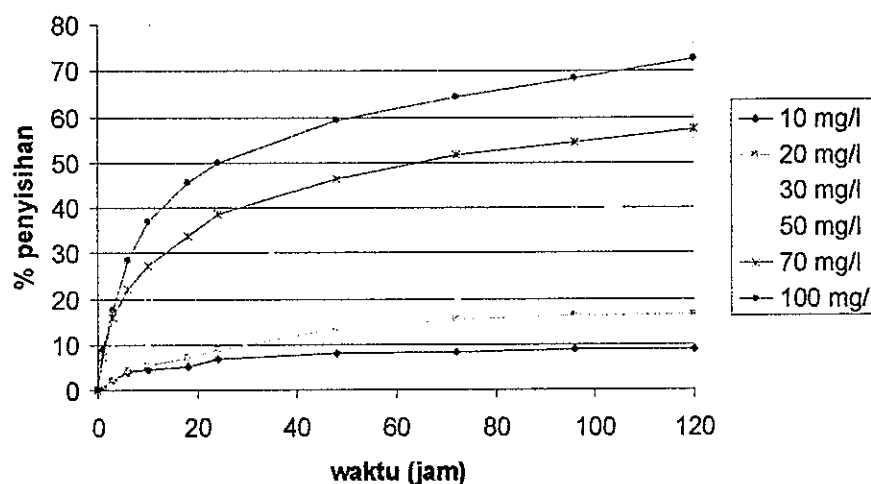
UPT-PUSTAK-UNDIP

Pengaruh berbagai faktor kondisi operasional terhadap efisiensi penurunan kontaminan  $\text{Fe}^{++}$  yang paling penting adalah waktu detensi dan bukan organik loading. Kemudian diikuti dengan



keasaman, porositas serta kadar lempung. Untuk mendapatkan nilai efisiensi penurunan  $\text{Fe}^{++}$  yang tinggi waktu detensi diatur dengan taraf tinggi. Waktu detensi 5 hari ( 120 jam ) menunjukkan hasil yang baik.

Menurut Chavey, et al (1957), keadaan tanah yang meliputi permeabilitas sangat berpengaruh pada waktu detensi. Kapasitas adsorpsi dari tanah merupakan proses dominan penghilangan kontaminasi. Setelah tanah jenuh dari kontaminan  $\text{Fe}^{++}$ , proses dominan penghilangan kontaminan  $\text{Fe}^{++}$  berhenti. Waktu detensi yang singkat menyebabkan proses degradasi kontaminan  $\text{Fe}^{++}$  masih pada tahap adsorpsi dan bukan mencapai titik jenuh sehingga proses adsorpsi belum sempurna. Adsorpsi tanah adalah proses dimana atom, partikel atau molekul suatu zat terikat pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik menarik dan atom atau molekul pada lapisan bagian luar dan permukaan padat.

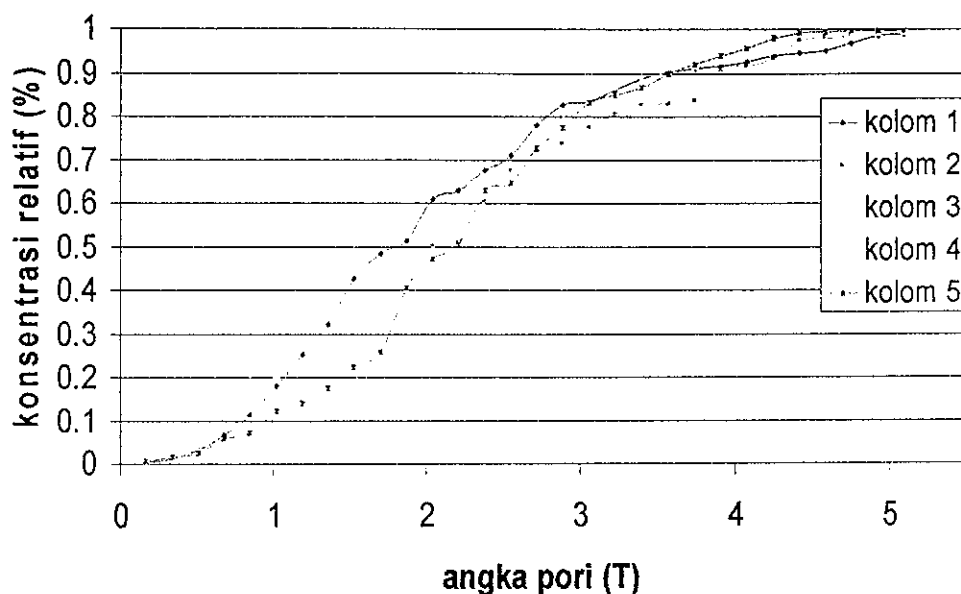


Gambar 4.9. Waktu Detensi 120 jam

#### 4.2.2. Eksperimen Kolom Dispersi

Untuk menentukan koefisien dispersi hidrodinamis dilakukan eksperimen kolom dari tanah yang undisturb dengan menggunakan KCl 0,01 N sebagai pelacak. Kecepatan aliran dibuat konstan dengan mengatur kran effluen. Laju limpasan aliran dibuat sekitar 60 % dari laju limpasan jatuh bebasnya pada awal penelitian, dengan tujuan untuk memberi keamanan terhadap terjadinya pengembangan sehingga pada akhir percobaan alirannya dapat dipertahankan konstan,. Laju

limpasan aliran diatur 50 ml/hari. Pengambilan sampel untuk analisis konsentrasi kloridanya dilakukan setiap selang waktu 0,14 T. Hasil penelitian tanah tersebut disajikan pada lampiran 4.4 dan kurva breakthrough dispersi eksperimen kolom dapat dilihat pada gambar 4.10.



**Gambar 4.10.** Kurva konsentrasi relatif vs angka pori untuk mencari koefisien dispersi

Perhitungan Faktor Retardasi dan konduktivitas hidrolis ada pada lampiran 4.7.

**Tabel 4.5.** Hasil analisis data eksperimen kolom dispersi

No	Parameter	Tanah TPA Kendal
1.	Faktor retardasi ( $R$ )	1,34837
2.	Koefisien dispersi hidrodinamis (D, cm <sup>2</sup> /hari)	12,84065

Eksperimen kolom dispersi dengan umpan K Cl juga berfungsi sebagai pelacak ( tracer ) sebelum melaksanakan eksperimen kolom sorpsi dengan umpan Ferro chlorida. Hal lainnya juga bertujuan agar senyawa  $\text{Fe}^{2+}$  ( Ferro ) agar tidak mudah berubah menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  ( Ferri ).

Dari hasil penelitian eksperimen kolom dispersi diperoleh faktor retardasi adalah 1,348, dan koefisien hidrodinamis sebesar  $12,841 \text{ cm}^2 / \text{hari}$ . Besar kecilnya faktor retardasi diakibatkan oleh besar kecilnya kadar bahan organik, semakin besar kadar bahan organik reaksi yang terjadi juga lebih besar. Hal ini dikarenakan pada proses sorpsi desorpsi, bahan organik sangat berperan dalam pembentukan muatan negatif yang akan mengikat kation. Karena permeabilitas dan angka pori tanah yang relatif kecil, maka faktor difusi akan lebih berpengaruh dari pada adveksinya.

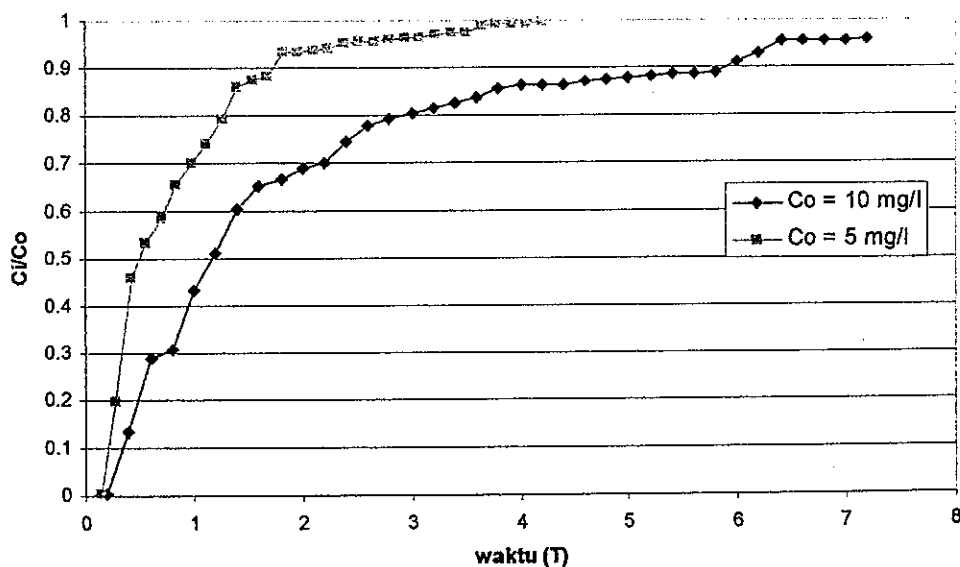
### 4.2.3. Eksperimen Kolom Sorpsi

#### 4.2.3.1. Eksperimen kolom untuk menentukan bentuk sorpsi tanah

Pada eksperimen kolom sorpsi yang digunakan sebagai larutan umpan yaitu Ferro klorida dengan konsentrasi 5 dan 10 mg/l. Hasil penelitian sorpsi kolom eksperimen tanah di sekitar TPA Kendal disajikan dalam gambar 4.10. yaitu hubungan antara angka pori ( $T$ ) dan konsentrasi relatif ( $C_i/C_o$ ).

#### 4.2.3.2. Pengaruh konsentrasi influen

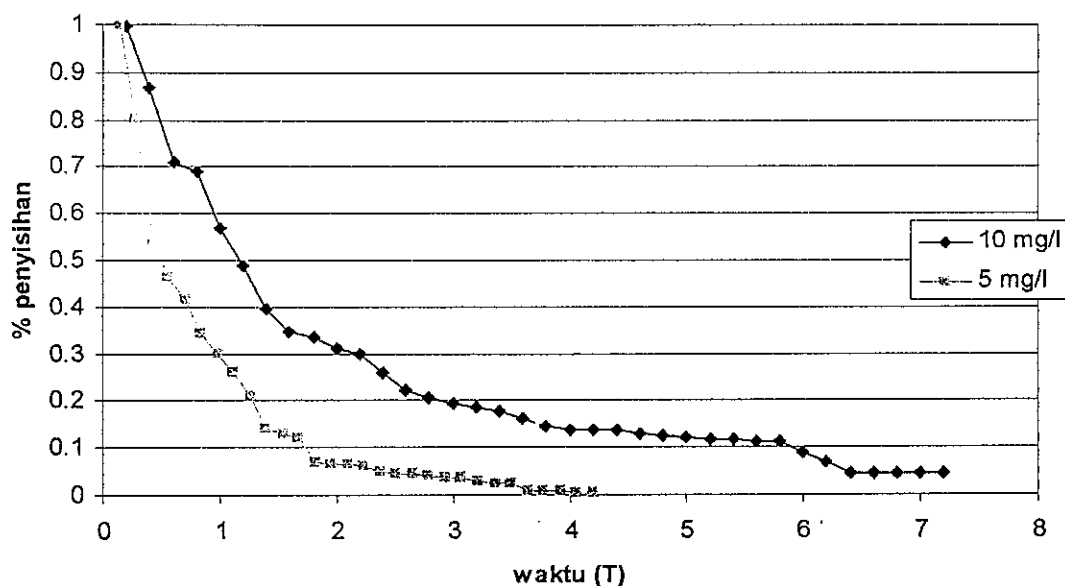
Dari data pada lampiran 4.5 diperoleh kurva perbandingan sebagai berikut :



**Gambar 4.11. Contoh kurva perbandingan pola sorpsi dengan memvariasikan konsentrasi influen dengan laju limpasan sama (50 ml/hari)**

Untuk perbandingan pola sorpsi dengan memvariasikan konsentrasi influen, tampak bahwa pola sorpsi dari kedua kurva terobosan konsentrasi 5 mg/l dan 10 mg/l tidak berbeda. Hal ini dikarenakan lebar zone perpindahan massa yaitu daerah antara titik tembus sampai titik jenuh sama besar. Perbedaannya adalah pada pencapaian titik tembus, pada konsentrasi 5 mg/l lebih cepat mencapai titik tembus bila dibandingkan dengan konsentrasi 10 mg/l yang lebih lama.

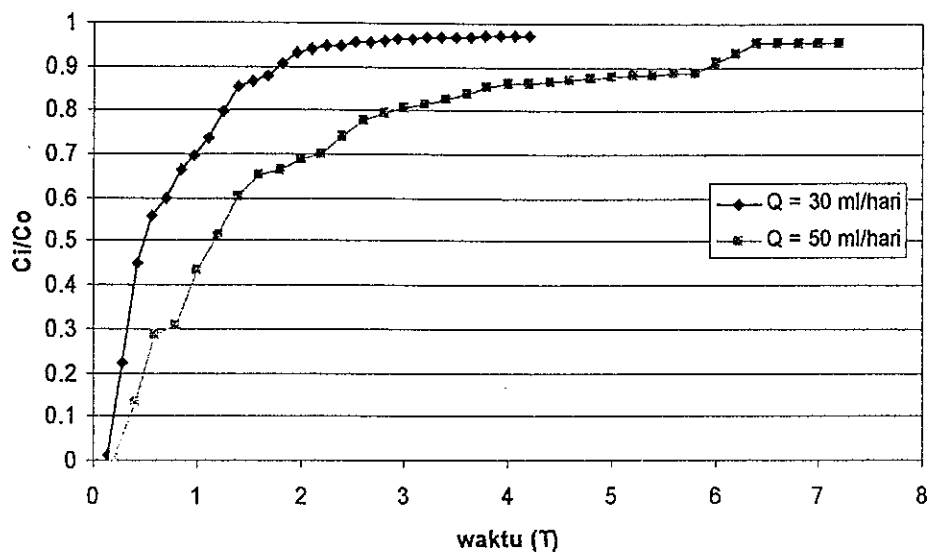
Penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{++}$  dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 4.12. Contoh grafik perbandingan efisiensi penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{++}$  dengan konsentrasi berbeda, laju limpasan sama (50 ml/hari)**

Dari gambar terlihat penambahan efisiensi penurunan konsentrasi  $\text{Fe}^{++}$  bila konsentrasi larutan bertambah kecil. Ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi larutan akan menyebabkan peningkatan kemampuan sorpsi.

#### 4.2.3.3. Pengaruh laju limpasan



**Gambar 4.13. Contoh kurva perbandingan pola sorpsi dengan memvariasikan laju limpasan influen dengan konsentrasi sama (10 mg/l)**

Bila laju limpasan besar maka waktu kontak semakin kecil sehingga kemungkinan ion-ion  $Fe^{++}$  yang lolos dari media lebih banyak. Ion-ion yang melewati media per satuan waktu adalah sebanding dengan laju limpasan influen maka pada konsentrasi yang sama dan dengan memperbesar laju limpasan, jumlah massa ion  $Fe^{++}$  akan menjadi banyak sehingga pada waktu tersebut jumlah ion yang lolos akan banyak. Pada laju tinggi (50 ml/hari) didapat kurva terobosan yang lebih landai serta waktu tembus dan waktu jenuh yang lebih lama. Pada laju aliran rendah konsentrasi effluen yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan pada perlakuan laju tinggi.

Proses dispersi dan transport zat terlarut dalam air tanah terdapat trend penurunan konsentrasi Fe, proses penurunan laju limpasan sejalan dengan bertambahnya waktu, hal ini juga berkaitan dengan deposit presipitat besi yang terbentuk. Jika dianalisa secara umum dengan melihat data penelitian yang ada tentang penurunan Fe total terlihat bahwa semakin lama adsorpsi berlangsung semakin tidak efektif mengoksidasi dan mengadsorpsi kadar Fe total dalam air.

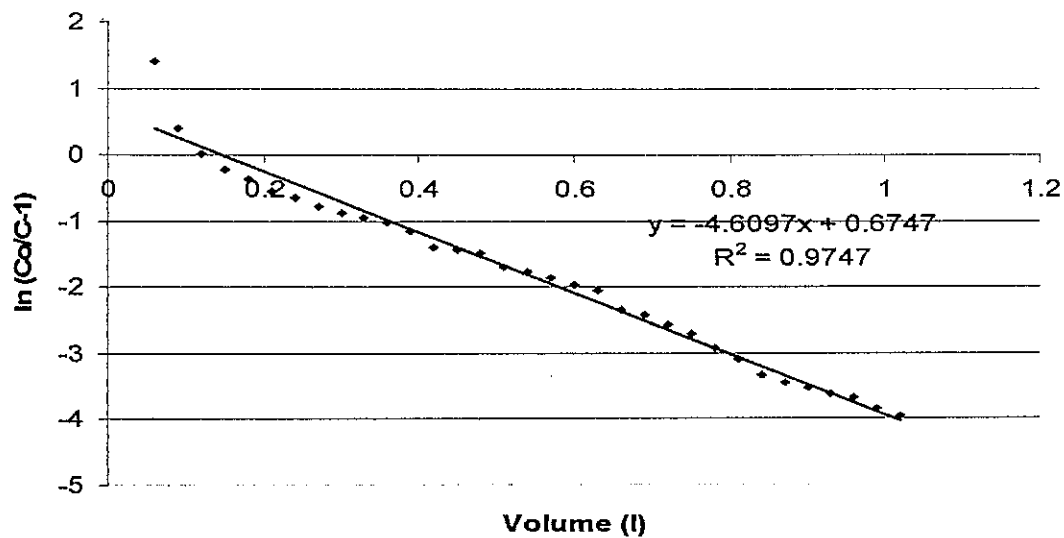
Adanya beberapa variabel pengganggu yang tidak terkontrol dalam penelitian ini sangat mempengaruhi kondisi tersebut.

## 5. Pemodelan Untuk Eksperimen Kolom

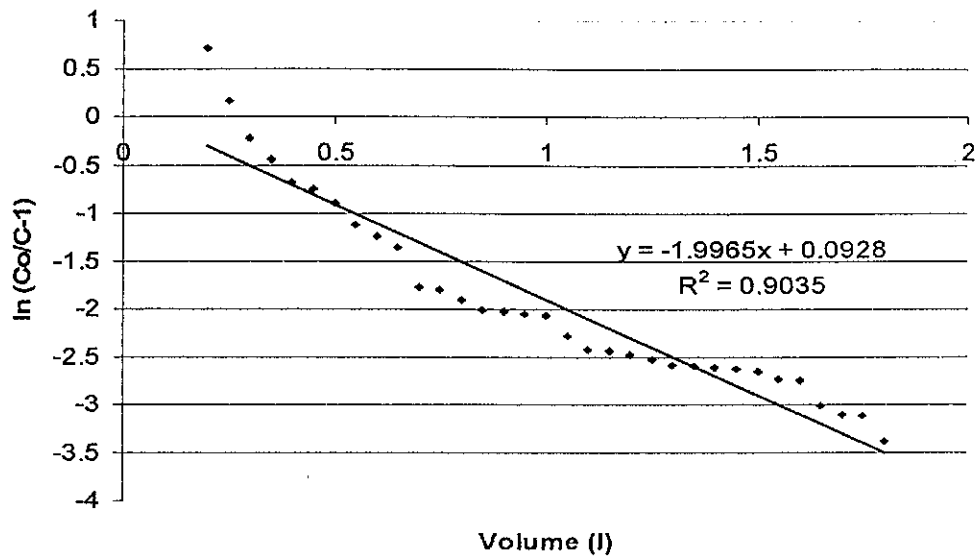
Persamaan Thomas yaitu :

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{k_1}{q_o} (q_o M - C_o V)}}$$

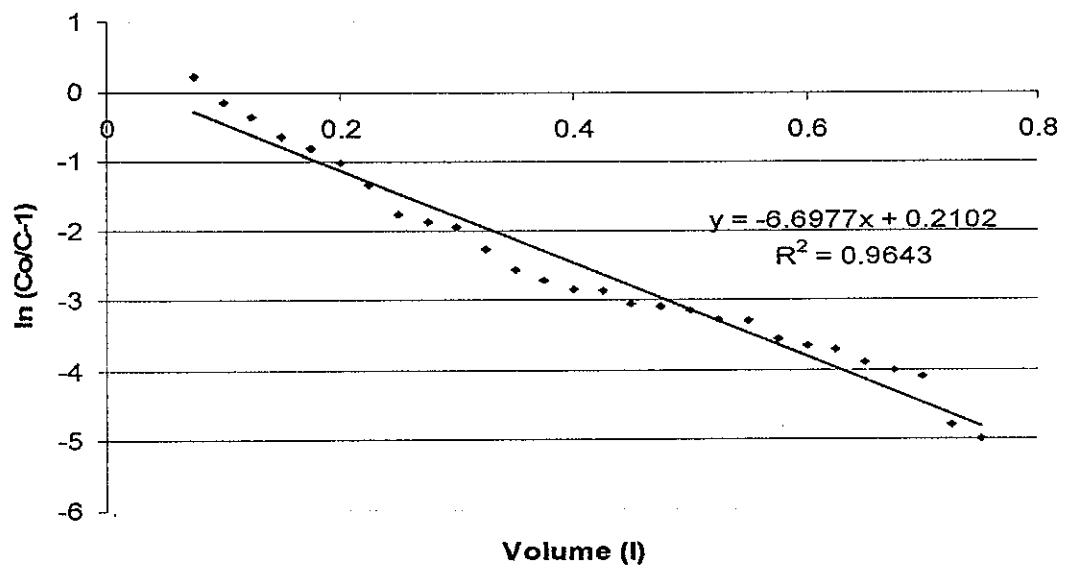
digunakan untuk pemodelan kolom dengan data hasil pengamatan konsentrasi efluen dan volume yang terolah, maka dapat diperoleh harga  $k_1$  dan  $q_o$ . Dibuat grafik  $y = b + mx$  dengan  $y = \ln \left( \frac{C_o}{C} - 1 \right)$  vs volume, dari garis regresi diperoleh slope untuk menentukan nilai  $k_1$  dan  $q_o$  dicari dengan menggunakan intercept.



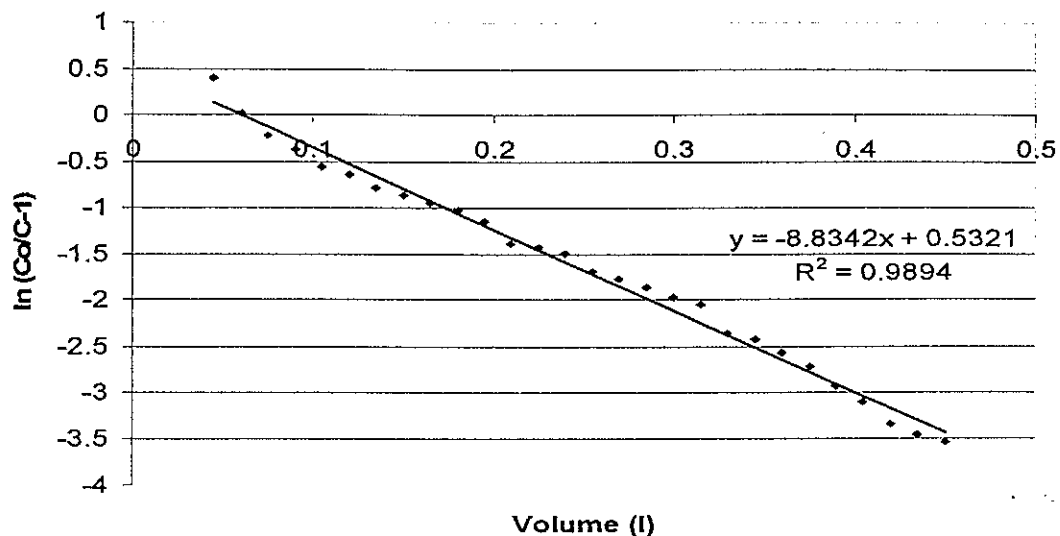
Gambar 4.14. Grafik antara  $\ln \left( \frac{C_o}{C} - 1 \right)$  vs volume untuk  $C_o = 5$  mg/l dan laju limpasan 30 ml/hari



Gambar 4.15. Grafik antara  $\ln \left( \frac{Co}{C} - 1 \right)$  vs volume untuk  $Co = 10$  mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari



Gambar 4.16. Grafik antara  $\ln \left( \frac{Co}{C} - 1 \right)$  vs volume untuk  $Co = 5$  mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari



Gambar 4.17. Grafik antara  $\ln \left( \frac{Co}{C} - 1 \right)$  vs volume untuk  $Co = 10 \text{ mg/l}$  dan laju limpasan  $30 \text{ ml/hari}$

Dari hasil observasi dengan eksperimen kolom sorpsi didapatkan persentase sorpsi pada tanah di sekitar TPA Sampah Jatirejo adalah rata-rata 21,69 % untuk tebal tanah 10 cm, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran 4.6.

Dengan hasil di atas dapat dibuat model persamaan sebagai berikut :

a. Untuk  $Co = 5 \text{ mg/l}$  dan laju limpasan  $30 \text{ ml/hari}$

$$\ln \left( \frac{Co}{C} - 1 \right) = -4,0097V + 0,6747$$

$$4,6097 = \frac{k1.0,005 \text{ mg / ml}}{3,472.10^{-4} \text{ ml / dtk}} \text{ dan } 0,6747 = \frac{k1.qo.389863 \text{ mg}}{3,472.10^{-4} \text{ ml / dtk}}$$

$$k1 = 0,320 \text{ ml/mg.dtk}$$

$$qo = 1,877.10^{-9} \text{ mg/mg}$$

$$\frac{Co}{C} = 1 + e^{\frac{0,320}{e^{(1,877.10^{-9} \cdot M - Co \cdot V)}}} \dots\dots\dots (4.12)$$



- b. Untuk  $C_0 = 10 \text{ mg/l}$  dan laju limpasan  $50 \text{ ml/hari}$

$$\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) = -1,9965V + 0,0928$$

$$1,9965 = \frac{k1,0,01 \text{ mg/ml}}{5,787 \cdot 10^{-4} \text{ ml/dtk}} \text{ dan } 0,0928 = \frac{k1 \cdot q_0 \cdot 389863 \text{ mg}}{5,787 \cdot 10^{-4} \text{ ml/dtk}}$$

$$k1 = 0,116 \text{ ml/mg.dtk}$$

$$q_0 = 1,193 \cdot 10^{-9} \text{ mg/mg}$$

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,116}{Q}(1,193 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V)} \dots\dots\dots (4.13)$$

- c. Untuk  $C_0 = 5 \text{ mg/l}$  dan laju limpasan  $50 \text{ ml/hari}$

$$\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) = -6,6977V + 0,2102$$

$$6,6977 = \frac{k1,0,005 \text{ mg/ml}}{5,787 \cdot 10^{-4} \text{ ml/dtk}} \text{ dan } 0,2102 = \frac{k1 \cdot q_0 \cdot 389863 \text{ mg}}{5,787 \cdot 10^{-4} \text{ ml/dtk}}$$

$$k1 = 0,776 \text{ ml/mg.dtk}$$

$$q_0 = 4,021 \cdot 10^{-10} \text{ mg/mg}$$

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,776}{Q}(4,021 \cdot 10^{-10} \cdot M - C_0 \cdot V)} \dots\dots\dots (4.14)$$

- d. Untuk  $C_0 = 10 \text{ mg/l}$  dan laju limpasan  $30 \text{ ml/hari}$

$$\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) = -8,8342V + 0,5321$$

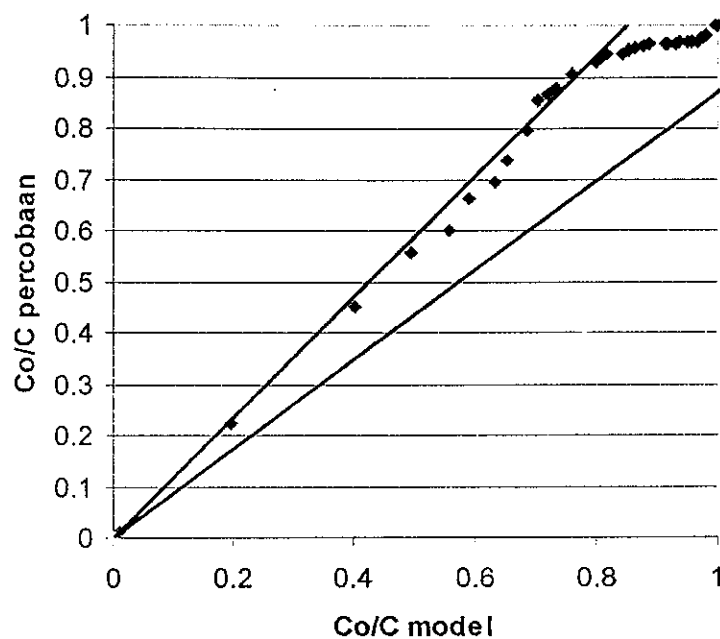
$$8,8342 = \frac{k1,0,01 \text{ mg/ml}}{3,472 \cdot 10^{-4} \text{ ml/dtk}} \text{ dan } 0,5321 = \frac{k1 \cdot q_0 \cdot 389863 \text{ mg}}{3,472 \cdot 10^{-4} \text{ ml/dtk}}$$

$$k1 = 0,307 \text{ ml/mg.dtk}$$

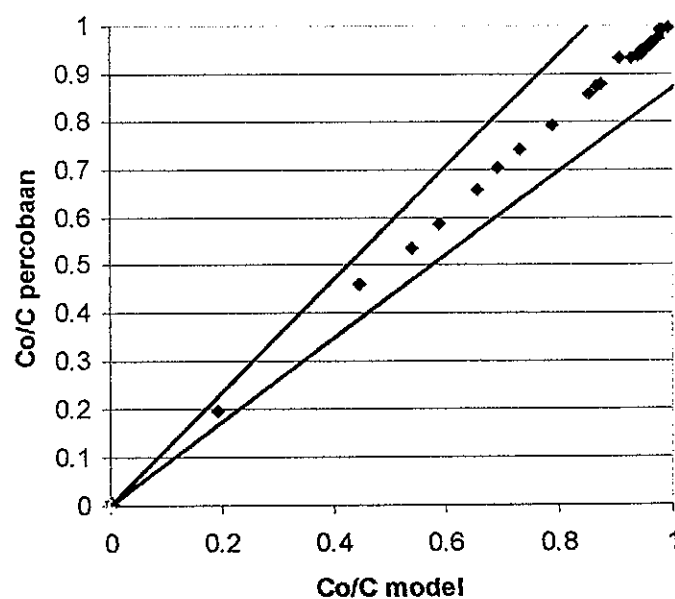
$$q_0 = 1,544 \cdot 10^{-9} \text{ mg/mg}$$

$$\frac{C_0}{C} = 1 + e^{\frac{0,307}{Q}(1,544 \cdot 10^{-9} \cdot M - C_0 \cdot V)} \dots\dots\dots (4.15)$$

Dari model-model yang didapat di atas, bila di bandingkan dengan hasil percobaan akan mempunyai penyimpangan sebagai berikut :



**Gambar 4.18. Grafik penyimpangan antara model yang memiliki konsentrasi berbeda dengan percobaannya**



**Gambar 4.19. Grafik penyimpangan antara model yang memiliki laju limpasan berbeda dengan percobaannya**

Dari gambar di atas, akan terlihat bahwa model yang didapat tidak menyimpang terlalu jauh dari percobaannya. Untuk model dengan konsentrasi yang berbeda akan memiliki penyimpangan sebesar 4,81 %, dan untuk model dengan laju limpasan yang berbeda akan memiliki penyimpangan sebesar 0,4 %. Hal ini bisa diketahui dengan membuat batas atas dengan slope sebesar 1,05 dan batas bawah dengan slope sebesar 0,95. Batas atas dan batas bawah itu yang kemudian menjadi pembatasan penyimpangan dari model tersebut apakah layak digunakan atau tidak yaitu sebesar  $\pm 5 \%$ .

## 6. Rekomendasi

Untuk menghindari adanya pencemaran kandungan  $\text{Fe}^{2+}$  yang ditimbulkan dari buangan leachate tempat pembuangan akhir sampah di Desa Jatirejo Kecamatan Ngampel Kabupaten Kendal terhadap sumur-sumur penduduk yang ada di sekitarnya, maka jarak minimal kanal pembuangan leachate posisinya minimal ditarik garis sejajar dengan sumur-sumur tersebut sejauh 80,76 meter.

## BAB. V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian di lapangan yaitu dengan melakukan pengukuran jarak sumber air lindi terhadap sumur yang terkontaminasi, kemudian masing-masing air sumur diuji kadar besinya, maka dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak tersebut, maka semakin kecil konsentarsi besi itu. Sedangkan model penurunan konsentrasi terhadap jarak adalah  $y = - 0,04625 + (7,68625) (0,27852)^x$ . Model tersebut bila dibandingkan dengan pengamatan lapangan tidak menyimpang terlalu jauh.
2. Dari hasil eksperimen diperoleh nilai koefisien dispersi pada tanah di sekitar TPA Jatirejo adalah sebesar  $12,84 \text{ cm}^2/\text{hari}$ , dengan nilai faktor retardasi 1,35 dan tingkat penyerapan tanah rata-rata 21,69 % untuk tebal tanah uji 10 cm.
3. Dari hasil eksperimen batch, maka diperoleh model isotherm kesetimbangan sorpsi terhadap ferro adalah sebagai berikut :

- a. Isotherm kesetimbangan sorpsi ferro

$$\frac{x}{m} = 81,208 C^{0,6812}$$

- b. Isotherm kesetimbangan sorpsi kinetik ferro

$$C = C_0 e^{-0,04t}$$

Model tersebut bila dibandingkan dengan pengamatan laboratorium tidak menyimpang terlalu jauh.

Sedangkan model yang didapat dari eksperimen kolom sorpsi ( kontinyu ) adalah sebagai berikut :

- a. Untuk  $C_0 = 5 \text{ mg/l}$  dan laju limpasan  $30 \text{ ml/hari}$

$$\frac{Co}{C} = 1 + e^{-\frac{0,320}{Q}(1,877 \cdot 10^{-9} \cdot M - Co \cdot V)}$$

- b. Untuk  $Co = 10$  mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari

$$\frac{Co}{C} = 1 + e^{-\frac{0,116}{Q}(1,193 \cdot 10^{-9} \cdot M - Co \cdot V)}$$

- c. Untuk  $Co = 5$  mg/l dan laju limpasan 50 ml/hari

$$\frac{Co}{C} = 1 + e^{-\frac{0,776}{Q}(4,021 \cdot 10^{-10} \cdot M - Co \cdot V)}$$

- d. Untuk  $Co = 10$  mg/l dan laju limpasan 30 ml/hari

$$\frac{Co}{C} = 1 + e^{-\frac{0,307}{Q}(1,544 \cdot 10^{-9} \cdot M - Co \cdot V)}$$

Model-model yang didapat mempunyai penyimpangan yang kecil sehingga bisa digunakan.

## 5.2. Saran

1. Dari persamaan empiris di lapangan yang diperoleh antara jarak dengan penurunan konsentrasi  $Fe^{2+}$ , yaitu  $y = -0,04625 + (7,68625)(0,27852)^x$  terdapat tiga sumur yang terkontaminasi dan melebihi ambang batas sebagaimana ditetapkan oleh MenKes No. 907/2002 ( 0,3 mg/l ), untuk itu saluran pembuang leachate yang ada sekarang harus segera dipindah dengan jarak minimal 80,76 m sejajar dengan sumur penduduk terdekat, atau bila tidak 3 ( tiga ) buah sumur yaitu sumur I, II dan III jangan digunakan untuk keperluan rumah tangga.
2. Khusus saluran pembuang lindi pada TPA Jatirejo, kenyataannya telah mencemari sumur penduduk, meskipun dalam hal ini satu parameter yang diteliti yaitu kandungan Fe, oleh sebab itu disarankan agar leachate sebelum dibuang ke kanal agar diolah ( Treatment ) lebih dahulu, atau kalau tidak saluran kanal dibuat kedap air dengan cara melapisi permukaan kanal dengan pasangan batu atau dengan pasangan beton.

3. Pembuatan TPA ( Tempat Pembuangan Akhir ) sampah hendaknya dibuat yang benar dalam arti baik dari segi konstruksi maupun dari segi kesehatan sesuai dengan kaidah-kaidah yang berlaku, sehingga dengan demikian keberadaan TPA tersebut tidak mengganggu lingkungan dan kesehatan penduduk sekitarnya.